



## 저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

조경학석사 학위논문

다중 시기 항공 LiDAR 데이터를  
이용한 도시림의 성장량 추정

Estimation of the Urban Forest Growth  
Using Multi-temporal LiDAR Dataset

2018년 2월

서울대학교 환경대학원

환경조경학과

최 희 준

# 다중 시기 항공 LiDAR 데이터를 이용한 도시림의 생장량 추정

지도교수 송 영 근

이 논문을 조경학석사 학위논문으로 제출함  
2017년 10월

서울대학교 환경대학원  
환경조경학과  
최 희 준

최희준의 석사 학위논문을 인준함  
2017년 12월

위 원 장

孫 錦 勳 (인)

부위원장

李 東 根 (인)

위 원

송 영 근 (인)

# 다중 시기 항공 LiDAR 데이터를 이용한 도시림의 생장량 추정

서울대학교 환경대학원 환경조경학과  
최 희 준

위 논문은 서울대학교 및 환경대학원 환경조경학과 학위논문  
관련 규정에 의거하여 심사위원의 지도과정을 충실히  
이수하였음을 확인합니다.

2018년 2월

위 원 장 孫鎬勲 (서울대학교 환경대학원 교수)

부위원장 李東根 (서울대학교 농업생명과학대학 교수)

위 원 송영근 (서울대학교 환경대학원 교수)

## 국문초록

오늘날 생물다양성 보전과 생태계 서비스의 측면에서 도시림의 중요성이 대두되고 있다. 하지만, 도시화의 진행은 산림의 고립화, 인위적 교란의 빈번한 발생을 야기하고 있으며, 그에 따라 도시림의 건강성을 평가하고 관리하는 활동의 필요성이 제기되고 있다. 도시림의 건강성은 수관의 성장을 통해 정량화하여 나타낼 수 있는데, 이는 수관의 생장이 수목의 연령, 종 조성, 교란 등 주변 환경에 영향을 받기 때문이다. 수관의 성장량 추정 등 산림을 대상으로 한 연구 방법으로 1990년대부터 LiDAR(Light Detection and Ranging)라는 원격탐사 센서를 이용한 측량 방법이 연구되고 있다. 특히, 항공 LiDAR 데이터의 활용은 전통적인 수고추정방법의 한계점을 극복하고 효율적으로 넓은 대상지의 분석을 가능케 하며 항공사진과 위성영상의 2차원적인 제약을 벗어나 3차원적인 공간분포의 정밀한 추정을 가능케 한다.

경년 항공 LiDAR 데이터를 이용한 산림의 연구는 광역단위 대상지 내 수관의 변화량을 수십 센티미터 단위의 정확도로 정밀하게 탐지해 낼 수 있다는 잠재성이 있음에도, 관련 연구는 북미지역과 북유럽지역의 상록수가 우점하는 한대수림 지역 또는 보전지역을 중심으로 진행이 되어왔으며, 온대 기후대에 위치한 도시 내 산림(도시림)을 대상으로 진행된 연구는 부족한 실정이다. 기후변화, 도시화 등 다양한 환경 문제에 따른 도시림의 건강성 문제가 지속적으로 제시됨에 따라 도시림의 건강성을 정량적으로 나타낼 지표가 필요하며, 이는 도시림을 구성하는 수관의 연간 성장량 등을 통해 나타낼 수 있을 것으로 판단된다. 따라서 비교적 넓은 면적인 도시림의 효율적인 건강성 평가를 위해 항공 LiDAR 센서를 이용한 수관의 성장량을 정량화할 필요성이 있다.

본 연구의 목적은 2012년도와 2015년도에 촬영된 항공 LiDAR 데이터를 이용하

여 대상지인 도시림의 전체 연간 성장량과 수관 변화량을 추정하는데 있다. 세부적인 목표로 수관의 변화량을 통해 도시림 수관의 연간 성장량과 성장지역분포, 교란지역분포를 추정하고자 한다.

본 연구의 대상지는 충청남도 천안시 서쪽에 위치한 봉서산(158m)으로 시가화 지역 내 위치한 도시림이다. 항공 LiDAR 데이터는 2012년 10월 9일, 2015년 10월 30일 두 시기에 취득되었으며, 데이터의 점군밀도는 두 시기 모두 9 points/m<sup>2</sup> 으로 유사하다. 봉서산에 분포하는 수종으로, 상수리나무(44.8%), 리기다소나무(29.7%), 낙엽송(7.43%) 등이 우세한 것으로 조사되었으며, 전체적인 도시림을 이루는 수목의 평균 영급이 3.8영급으로 성숙한 숲을 이루는 것으로 조사되었다.

전체적인 연구 방법으로 2012년도와 2015년도 LiDAR 데이터의 수직적인 거리 차이를 계산하여 대상지 수관의 변화량을 추정하는 방법을 이용하였다. 이를 위해 항공 LiDAR 데이터를 TerraScan 소프트웨어를 이용하여 전처리 한 뒤 그리드의 크기가 0.25\*0.25m<sup>2</sup> 인 수치표면모델과 수치지형모델을 생성하고 수관높이모델(CHM: Canopy Height Model)을 추출하였다. 평균수관높이의 절반인 5m를 기준으로, 5m 이하지역을 관목/숲틈 지역(shrub canopy/gap), 5m 초과 지역을 교목 지역(high canopy)으로 분류하였다.

연구 결과 교목지역에서의 연평균 성장량은 24.4 cm/year 추정되었으며, 관목/숲틈 지역에서의 연평균 성장량은 19.4 cm/year로 추정되었다. 연평균 성장량은 수종에 따라 그 차이가 가장 명확하게 나타났다(밤나무: 27cm/year; 리기나 소나무: 24cm/year). 대상지 전체 면적의 18%가 수직방향성장지역으로 분류되었으며, 42%가 측방향성장지역으로 분류되었다. 교목 지역의 경우 측방향성장지역이 43.1%로 가장 넓은 분포를 보이며, 수직방향성장지역 20.0%로 면적분포가 나타났다. 반면, 관목/숲틈 지역의 경우 수직방향성장지역이 40.8%로 가장 넓은 분포를 보이며, 측방향성장지역 20.0%로 면적분포가 나타났다. 측방향성장지역의 면적은 동남향에서 상대적으로 가장 넓게 분포하며, 서북향으로 갈수록 상대적으로 좁아지는 경향을 보였다. 대상지 전체 면적대비 교란지역 면적 비율은 40%로, 넓은

지역에서 산림에 피해가 발생하고 있음을 추정할 수 있다. 교란은 특히 대상지 경계, 경작지, 묘지, 산책로 주변 10m 등에서 규모와 발생빈도가 높게 나타남을 연구 결과를 통해 추정할 수 있었다. 또한, 교목 지역의 경우 서향에서 동향보다 교란이 상대적으로 높게 발생하는 경향을 보였다. 숲틈의 경우 2012년도와 2015년도 사이 21027.85㎡의 면적이 감소하였으며, 패치의 수 역시 530지역이 감소한 것으로 추정되었다. 또한 2015년도 숲틈 패치들의 평균 면적은 2012년도 대비 2.11㎡ 증가한 것으로 탐지되었다.

경년 항공 LiDAR 데이터를 이용한 도시림의 연구는 기존 연구방법의 한계점을 극복하고 광역단위 산림의 동태를 연구하는 데 있어 효율적으로 정량적인 결과를 도출해 낼 수 있다는 장점이 있다. 따라서 본 연구는 향후 단기간의 변화뿐만이 아닌 장기간의 변화양상까지 추정하고 모니터링 하는 연구에 기여할 수 있을 것으로 판단된다.

**주요어 :** 도시림, 항공 LiDAR, 산림 생장, 교란

**학 번 :** 2016-24853

# 목 차

## 제1장 서론

1절. 연구의 배경 및 목적 .....	01
1. 연구의 배경 .....	01
2. 연구의 목적 및 의의 .....	03
3. 연구의 범위 .....	04

## 제2장 이론적 고찰

1절. 항공 LiDAR 데이터를 이용한 수관의 변화량 추정 .....	06
1. LiDAR 데이터의 활용과 기존 연구방법 고찰 .....	06

## 제3장 연구방법

1절. 연구의 흐름 .....	11
1. 연구의 흐름 .....	11
2절. 연구대상지 .....	12
1. 대상지 개요 .....	12
3절. 데이터 취득 .....	15
1. 2차원 데이터 취득 .....	15
2. 항공 LiDAR 데이터 취득 .....	16
3. 현장조사 데이터 취득 .....	17
4. 취득 데이터 요약 .....	18
4절. 항공 LiDAR 데이터 가공 .....	18
1. 항공 LiDAR 데이터 전처리 .....	18
2. TIN 모델 제작 .....	18
5절. 래스터 데이터 분류 .....	20
1. 수관 분류 .....	20
2. 2012년도와 2015년도 수관높이모델 비교를 통한 생장, 교란지역 분류 .....	20
6절. 임상도, 토성, 향, 경사도별 수관높이모델 비교 .....	20
1. 수관높이모델 비교시 기준 데이터 .....	22
2. 높이에 따른 수관높이모델 분류 .....	24



## 제4장 결과

1절. 분석결과 .....	26
1. 2012년도, 2015년도 수관높이모델 분류 생성 결과 .....	26
2. 높이에 따른 수관높이모델 분류 결과 .....	27
3. 수직방향생장지역과 연간 평균 수직방향생장량 추정 .....	29
4. 측방향생장지역 탐지 결과 .....	38
5. 교란지역 탐지 결과 .....	46
6. 숲틈의 탐지 결과 .....	55
7. 열린 지역, 숲틈 현장검증 .....	56
8. 인위적 교란 발생지역, 대상지 경계의주변의 생장량과 교란 추정 결과 .....	58

## 제5장 고찰

1절. 결과 고찰 .....	60
1. 연평균 수관 생장량 .....	60
2. 생장지역 면적 분포 .....	61
3. 교란지역 면적 분포 .....	64
4. 측정 오차 .....	66

## 제6장 결론

1절. 연구 요약 .....	67
1. 연구 결과 요약 .....	67
2절. 연구의 의의와 한계 .....	68
1. 연구의 의의 .....	68
2. 연구의 한계점 .....	69

[참고문헌] .....	71
--------------	----

## ■ 표 목차

[표 2- 1] LiDAR 데이터를 이용한 산림의 동태 추정 연구 및 변화탐지 선행 연구 .....	06
[표 3- 1] 봉서산 수종분포 현황 .....	15
[표 3- 2] 대상지 촬영에 사용된 LiDAR 센서 정보 .....	16
[표 3- 3] 활용 영상 정보 .....	18
[표 3- 4] 래스터 데이터 분류항목 .....	22
[표 3- 5] 대상지 수종 현황 .....	22
[표 3- 6] 대상지 영급 현황 .....	23
[표 3- 7] 대상지 토성 현황 .....	23
[표 3- 8] 대상지 향 분류 현황 .....	24
[표 3- 9] 대상지 경사도 분류 현황 .....	24
[표 3-10] 수관높이모델(CHM) 분류 .....	25
[표 3-11] 비교항목 .....	25
[표 4- 1] 2012년도, 2015년도 수관높이모델 높이 평균값 .....	26
[표 4- 2] 2012년도, 2015년도 수관높이모델 분류 분포 .....	27
[표 4- 3] 수종분포별 평균수직생장량 추정결과 .....	31
[표 4- 4] 영급분포별 평균수직생장량 추정결과 .....	27
[표 4- 5] 토성분포별 평균수직생장량 추정결과 .....	34
[표 4- 6] 향별 평균수직생장량 추정결과 .....	35
[표 4- 7] 경사도별 평균수직생장량 추정결과 .....	37
[표 4- 8] 수종분포별 측방향생장면적과 비율 .....	39
[표 4- 9] 영급분포별 측방향생장면적과 비율 .....	41
[표 4-10] 토성분포별 측방향생장면적과 비율 .....	42
[표 4-11] 향별 측방향생장면적과 비율 .....	43
[표 4-12] 경사도별 측방향생장면적과 상대적 비율 .....	45
[표 4-13] 수종분포별 교란지역면적과 비율 .....	47
[표 4-14] 영급분포별 교란지역면적과 비율 .....	49
[표 4-15] 토성분포별 교란지역면적과 비율 .....	51
[표 4-16] 향별 교란지역면적과 비율 .....	52
[표 4-17] 경사도별 교란지역면적과 비율 .....	54

[표 4-18] 2012년도와 2015년도 탐지된 숲틈의 평균 면적과 패치 수 .....	55
[표 4-19] 열린지역, 숲틈 조사 지역 .....	56
[표 4-20] 버퍼내부와 바깥의 연평균 수직방향생장량 .....	59
[표 4-21] 버퍼내부와 외부의 교란면적 .....	59
[표 6- 1] 대상지 전체 현황 .....	67

## ■ 그림 목차

[그림 3- 1] 데이터 처리 흐름도 .....	11
[그림 3- 2] 봉서산 위치 .....	13
[그림 3- 3] 봉서산 수종분포 .....	14
[그림 3- 4] 항공 LiDAR촬영경로 .....	16
[그림 3- 5] $\Delta CHM_{(15-12)}$ 차이에 따른 수관모델 분류 .....	22
[그림 4- 1] 2012년도 수관높이모델 .....	26
[그림 4- 2] 2015년도 수관높이모델 .....	27
[그림 4- 3] 2012년도, 2015년도 수관높이모델을 통해 산출한 래스터 .....	28
[그림 4- 4] 교목, 관목/숲틈, 단합, 열림 지역 내 성장/교란지역 면적 분포 .....	29
[그림 4- 5] 교목, 관목/숲틈에서의 연평균 성장량 .....	30
[그림 4- 6] 수종분포별 연평균 수직방향성장량 .....	31
[그림 4- 7] 영급분포별 연평균 수직방향성장량 .....	32
[그림 4- 8] 토성분포별 연평균 수직방향성장량 .....	34
[그림 4- 9] 향별 연평균 수직방향성장량 .....	35
[그림 4-10] 경사도별 연평균 수직방향성장량 .....	37
[그림 4-11] 수종별 수직방향성장지역 면적 비율 .....	38
[그림 4-12] 영급별 측방향성장지역 면적 비율 .....	40
[그림 4-13] 토성별 측방향성장지역 면적 비율 .....	42
[그림 4-14] 향별 측방향성장지역 면적 비율 .....	43
[그림 4-15] 경사도별 측방향성장지역 면적 비율 .....	45
[그림 4-16] 수종별 교란지역 면적 비율 .....	27
[그림 4-17] 영급별 교란지역 면적 비율 .....	27
[그림 4-18] 토성별 교란지역 면적 비율 .....	51
[그림 4-19] 향별 교란지역 면적 비율 .....	56
[그림 4-20] 경사도별 교란지역 면적 비율 .....	54
[그림 4-21] 2016년 10월 7일 현장답사 사진과 답사경로 .....	56
[그림 4-22] 2016년 10월 7일 현장답사 사진 .....	56
[그림 4-23] GPS 장비(GARMIN GPSmap 60CS) .....	56
[그림 4-24] 구글 어스 상에 KML 및 GPS 데이터 맵핑 모습 .....	56
[그림 4-25] 대상지 경계, 산책로, 묘지, 경작지 경계로부터 10m 버퍼지역 .....	58

[그림 5- 1] 교목, 관목/숲틈, 단헝, 열림 지역 내 생장지역 및 교란지역 면적 분포 .....	61
[그림 5- 2] 쪼에 의해 교란이 발생한 리기다소나무 분포 지역 .....	65
[그림 5- 3] 대상지 내 자연적으로 쓰러진 수목 .....	65

# 제1장 서론

## 1절 연구의 배경 및 목적

### 1. 연구의 배경

#### 1) 도시림의 건강성

오늘날 도시화에 따른 여러 가지 환경문제의 발생과 녹지 부족은 도시림의 중요성을 부각시키는 계기가 되었다. 도시림이란 「자연공원법」 제2조에 따른 공원 구역을 제외한 도시에서 국민 보건 휴양·정서함양 및 체험활동 등을 위하여 조성·관리하는 산림 및 수목을 일컫는다<sup>1)</sup>. 도시림 중 도시 내 산림은 식생과 주변 환경이 서로 어우러져 작용하는 하나의 생태계로, 여러 동식물의 서식지 제공, 온도조절, 공기 정화, 시민들의 커뮤니티 공간 제공 등 다양한 생태계 서비스가 나타나는 공간이다(McPherson et al., 1997). 그에 따라 오늘날 생물다양성 보전과 생태계 서비스의 가치 측면에서 도시림이 가지는 기능의 중요성이 대두되고 있다. 하지만 도시화의 진행에 따른 서식지 단절, 고립화는 도시림의 건강에 악영향을 미치고 있으며, 그에 따라 도시림의 지속가능성을 위해 녹지의 건강성을 평가하고 관리하는 활동이 전 세계적으로 증가하는 추세에 있다(Perry and Maghembe, 1989; Schulze and Mooney 1994; Clark et al., 2014).

산림의 지속가능성에 영향을 미치는 요인들로 수관구조가 제시되었다(Hardiman et al., 2013). 수관은 식물과 환경 간 상호작용이 발생하는 장소로, 다른 수목의 구조적인 요소들보다 생물적 비생물적 교란요소에 즉각적으로 반응하는 것으로 알려져 있어 산림의 건강성을 평가할 때 필수적으로 이해해야할 필요성이 있다(Norman and Campbell, 1989).

#### 2) 수관의 변화

---

1) 『산림자원의 조성 및 관리에 관한 법률』 제2조의 제2항

수관의 생장은 수목의 연령, 종 조성, 교란 등 다양한 주변 환경에 영향을 받기에 수목의 건강성을 나타내는 지표로 판단될 수 있다. 생장은 줄기 및 뿌리 끝에서 발생하는 1차 생장인 수직생장과 2차생장인 직경생장을 통해 진행되며, 정아에서 나온 줄기는 수직방향 생장을 하고 측아에서 나온 줄기는 측방향으로 생장하면서<sup>2)</sup> 수관의 변화를 야기한다. 기존의 생장량 추정의 방법으로 수목 혹은 수관의 높이 변화를 수고 측정기 등을 사용하여 현장에서 실측하는 방법 등이 이용되고 있으며, 이러한 변화의 추정은 수목의 생체량, 탄소저장량, 지역 생산성을 평가의 객관적인 자료가 된다(Schreuder et al., 1993).

도시림에서 수관구조의 변화를 야기하는 요소로 수목의 생장과 더불어 자연적·인위적 교란을 들 수 있다. 이러한 요소들은 전체적인 수관구조의 변화를 가져와 산림에서의 다양한 동태를 발생시키는 것으로 알려져 있다. 산림의 교란은 크게 기후변화, 대기오염, 산불 등과 같은 비생물적 요인과 산림 병충해와 같은 생물적 요인으로 나눌 수 있다.<sup>3)</sup> 수관에 비생물적·생물적 요인에 의한 교란이 발생하여 열린 공간이 형성될 경우 침입종의 유입, 산불발생, 병해충의 피해 지점이 되기도 한다.

### 3) 항공 LiDAR 센서를 이용한 원격탐사

과거부터 넓은 지역의 산림을 모니터링 하는 방법으로 현장조사를 비롯하여 다양한 원격탐사 도구가 이용되고 있다. 전통적인 방법의 현장조사는 넓은 지역을 대상으로 연구를 진행할 시 많은 노동력이 요구되며, 샘플링을 통해 데이터를 취득하기 때문에 전체적인 대상지의 정보를 취득하는 데 있어 한계가 있다. 이러한 현장조사방법의 한계점을 극복하기 위해 항공사진, Landsat 위성영상과 같은 원격탐사 도구를 이용하는 방법이 개발되어 왔다. 하지만 항공사진, 위성영상과 같은 원격탐사 도구의 활용은 태양의 고도 등에 따른 그림자 에 의해 오차가 발생할 수 있다는 단점이 있으며, 2차원 평면상의 데이터만을 다루기 때문에 데이터

---

2) 손요환외 5인 (2016). 『(신고) 산림생태학』 서울 : 향문사. p100

3) 같은 책. pp58-66.

가 가지는 높이 값( $z$ 좌표)을 분석하는 연구에는 적당하지 않다. 특히 우리나라처럼 숲이 경사가 급한 산지에 분포하면서, 다층 구조를 이루는 경우에는 항공사진과 위성영상과 같은 2차원 영상 관독에 의한 분석에 한계가 있다.<sup>4)</sup>

근래에는 LiDAR(Light Detection and Ranging)라는 원격탐사 센서를 이용한 측량 방법이 1990년대부터 꾸준히 연구되고 있다. LiDAR 센서는 능동형 센서(active sensor)로 빛을 발사한 시간과 타깃에 의해 반사된 빛을 감지한 시간을 계산하여 타깃의 형태를  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$  값의 3차원 위치 좌표를 가지는 점군데이터(point cloud)로 출력해 주는 장치이다. LiDAR에 의해 취득된 영상의 해상도는 높게는 mm단위에서 작게는 수십 cm의 서브 미터급으로 정교하며, 영상의 정확도 또한 상당히 높게 나타나는 것으로 보고되고 있다. 그중 항공기를 이용한 LiDAR 데이터 측량은 수십 cm단위의 높은 해상도를 가지면서, 넓은 면적의 대상을 3차원 위치좌표 형태로 정확하게 출력해 낼 수 있다는 장점을 가지고 있다. 특히, 산림을 대상으로 한 연구의 경우 수고추정뿐만 아니라 캐노피 커버(canopy cover), 엽면적지수(leaf area index), 캐노피 공극 분율(canopy gap fraction) 등이 현장조사 결과와 매우 유사하게 추정되는 것으로 알려져 있다(Korhonen et al., 2011).

## 2. 연구의 목적 및 의의

### 1) 연구의 목적

본 연구의 목적은 2012년도와 2015년도에 촬영된 항공 LiDAR 데이터를 이용하여 대상지인 도시림의 전체 연간 생장량과 수관 변화량을 추정하는데 있다. 세부적인 목표로 수관의 변화량을 통해 수관부의 수직방향생장지역과 측방향생장지역, 교란지역을 추정하고자 한다.

### 2) 연구의 차별성과 필요성

경년 항공 LiDAR 데이터를 이용한 산림의 연구는 광역단위 대상지의 수관의

---

4) 손요환외 5인. 앞에 든 책. p105.



변화량을 수십 센티미터 단위의 정확도로 정밀하게 탐지해 낼 수 있는 잠재성이 있다. 하지만 관련 연구는 북미지역과 북유럽지역의 상록수가 우점하는 한대수림 지역 또는 보전지역을 중심으로 진행이 되었으며, 온대 기후대에 위치한 도시 내 산림(도시림)을 대상으로 진행된 연구는 부족한 실정이다. 기후변화, 도시화 등 다양한 환경 문제에 따른 도시림의 건강성 문제가 지속적으로 제시됨에 따라 도시림의 건강성을 정량적으로 나타낼 지표가 필요하며, 이는 도시림을 구성하는 수관의 연간 성장량 등을 통해 나타낼 수 있을 것으로 판단된다. 따라서 비교적 넓은 단위 도시림의 건강성 평가를 위해 항공 LiDAR 센서를 이용한 수관의 성장량을 정량화할 필요하다.

## 2) 연구의 의의

항공 LiDAR 데이터의 활용은 전통적인 수고추정방법의 한계점을 극복하고 비교적 적은 노동력으로 대상지 전체의 분석을 가능케 하며 항공사진과 위성영상의 2차원적인 제약을 벗어나 3차원적인 공간분포를 추정을 가능케 한다. 이는 비교적 간단한 방법을 이용해 수관의 변화를 정밀하게 추정할 수 있게 해주고 대상지 내 식생의 건강성을 판단하는 데 도움을 줄 수 있다.

경년 항공 LiDAR 데이터를 이용한 도시림의 연구는 광역단위 산림의 동태를 연구하는 데 있어 객관적이고 정량적인 결과를 도출해 낼 수 있다는 장점이 있다. 또한 향후 단기간의 변화뿐만이 아닌 장기간의 변화양상까지 확장하는 데 기여할 수 있을 것으로 판단된다.

## 3. 연구의 범위

### 1) 공간적, 시간적 범위

본 연구의 대상지는 충청남도 천안시 서쪽에 위치한 봉서산(158m)으로 시가화 지역 내 위치한 도시림이다. 연구의 시간적 범위는 항공 LiDAR 스캐닝이 진행된 2012년 10월 9일, 2015년 10월 30일이다.

## 2) 내용적 범위

본 연구에서는 경년 항공 LiDAR 데이터를 이용한 변화탐지방법(Change detection method)을 이용해 도시림의 연간 생장량을 정량화하고자 한다.

## 제2장 이론적 고찰

### 1절. 항공 LiDAR 데이터를 이용한 수관의 변화량 추정

#### 1. LiDAR 데이터의 활용과 기존 연구방법의 고찰

[표 2- 1] LiDAR 데이터를 이용한 산림의 동태 추정 연구 및 변화탐지(Change detection) 선행 연구

Author	Year	Explanation
St-Onge and Vepakomma	2004	Quantifying forest growth and gap dynamics using multi-temporal airborne lidar
Yu et al.	2006	Change detection method for detecting canopy height growth
Vepakomma et al.	2008	Research of forest gap dynamics in boreal forest using multi-temporal lidar
Hopkinson et al.	2008	Research of uncertainty for estimating vegetation growth using multi-temporal lidar data
Vepakomma et al.	2011	Research of forest gap and distance from gap edge affecting hardwood/softwood saplings
Vepakomma et al.	2012	Multi-temporal and spatial analysis of forest gap dynamics
Nyström et al.	2013	Change detection of vegetation changes using multi-temporal Lidar data
St-Onge et al.	2014	Review of detecting forest gap using airborne Lidar
Song et al.	2016	Estimating broad-leaved growth using multi-temporal lidar data in urban forest
Cao et al.	2016	Estimating forest biomass dynamics using multi-temporal Lidar data

Qin et al.	2016	Change detection techniques using 3d point cloud data
Olivier et al.	2017	Research of quantifying forest growth adjacent to opened canopy area using multi-temporal Lidar
Ma et al.	2017	Quantifying single tree growth and competition in California Sierra Nevada Mountains using bi-temporal Lidar data

2000년대 중반 이래로 LiDAR 데이터를 이용한 산림 수관의 연구가 북미지역(캐나다)을 중심으로 시작되어 가장 최근(Oliver 외, 2017)까지도 진행되고 있다. 항공 LiDAR 센서를 이용할 경우 넓은 지역의 관심 대상을 3차원의 형태(x, y, z)로 취득할 수 있을 뿐만 아니라, 데이터의 정확도 또한 상당히 높게 얻을 수 있다. 3차원 데이터를 이용한 수관 변화의 탐지는 2차원 데이터(항공사진, 위성영상 등)를 취득하는 타 원격탐사 도구를 이용하는 것 보다 정확하게 변화를 탐지할 가능성이 있다. 실제로 수관부 열림과 같은 숲의 구조적인 측면을 분석할 때 LiDAR의 활용이 타 원격탐사 도구를 활용하는 것보다 높은 정확도를 나타내고 있어 해당 분야에서 가능성을 인정받아 활용되고 있다(Lefsky 외 2002). Vepakomma 외 (2008, 2011, 2012) 는 경년 항공 LiDAR 데이터를 이용하여 침엽 수림대에서 발생하는 숲틈의 동태를 정량적으로 연구하였다. 열린 지역 탐지에 있어 객체지향분류(object-based technique)를 활용하였으며, 정확도가 96%로 높게 나타나 해당 연구방법에 대한 타당성을 보였다.

숲의 변화를 연구하는 방법으로 원격탐사 분야에서 변화탐지(CD, Change Detection)방법이 주로 이용되고 있다. 변화탐지방법은 서로 다른 시간에 특정 대상이나 변화를 관찰을 통해 확인하는 절차(Singh, 1989)로 숲을 대상으로 영상을 활용한 변화탐지 방법을 적용했을 시 도시화에 따른 숲의 훼손 탐지, 식생지수변화를 통한 건강성 분석, 녹지 변화량 산출 등 변화량을 탐지할 수 있다. 이러한 변화량 탐지의 가능성은 다시기 항공 LiDAR 데이터를 이용한 분석에도 적용되어

연구가 진행되어 왔으며, 주로 캐노피 구조의 변화를 추정하는 연구들이 진행되고 있다(Yu 외, 2006). Song 외 (2016)은 경년 항공 LiDAR 데이터를 활용하여 일본 내 큰 규모의 도시공원에 식재된 여러 종류의 활엽수 수관의 수직 성장량을 추정하였으며, 활엽수 성장량 추정에 있어 광역단위의 수관변화량 추정에서 불확실성 및 하부식생의 성장량 추정, 수목의 측생장과 방향 계산 등에 관한 문제, 캐노피 내에서 발생하는 틈의 동태를 추정하는 연구가 남아있음을 언급하였다. Hopkinson 외 (2008)은 항공 LiDAR 데이터를 이용한 캐노피 구조의 변화탐지 방법 적용 시 3년 이내의 변화량에 대해서는 정확도가 낮음을 보고하였으며, Vepakomma 외 (2008)은 항공 LiDAR 데이터를 이용하여 숲틈 탐지 분석을 진행할 시 점군데이터의 밀도가 3포인트/m<sup>2</sup> 이상일 경우 신뢰할 만한 결과를 얻을 수 있음을 보고하였다. 또한 Vepakomma 외 (2011)은 경년 항공 LiDAR를 이용한 열린 지역에서의 변화탐지 분석 시 시기가 서로 다른 두 점군 데이터에 대하여 점군 밀도가 높으면서 서로 비슷할수록 보다 신뢰할 만한 결과를 산출할 수 있음을 언급하였으며, 연구결과를 통해 한대림 수관의 열린 지역에서 식생의 수직방향(vertical growth), 측방향생장량(lateral growth)과 숲틈과의 관계를 추정하였다. 그 결과 한대림의 활엽수뿐만이 아니라 침엽수에 의해서도 측방향 생장이 탐지되었으며, 그 속도 또한 서로 유사하게 추정되었다. Oliver 외 (2017)은 다중시기 지상 LiDAR 데이터를 이용하여 열린 지역의 수관 변화량을 정량화하는 방법에 대한 연구를 진행하였으며, 메쉬(mesh) 데이터와 점군 데이터 사이 비교를 통해 수관의 변화량을 정량화하였다. Oliver 외 (2017)은 다중 시기 지상 LiDAR 데이터를 이용한 열린 지역에서 단목단위 수관의 변화량을 정량화하는 방법에 대한 연구를 진행하였으며, 특히 식생의 측생장에 주목하여 메쉬(mesh) 데이터와 점군데이터 사이 거리 계산과 통계적인 방법을 이용하여 변화의 방향성까지 추정하는 방법을 제안하였다. 다중 시기 항공 LiDAR 데이터에 해당 방법을 적용할 시, 지상 LiDAR 데이터와 같이 모든 수직 계층에 대한 변화량을 추정할 가능성은 적지만, 수관의 수직·수평 생장의 정도와 방향성을 추정할 가능성이 있을 것이라 판단된

다. 하지만 항공 LiDAR 데이터를 활용하여 산림 지역을 스캔할 시, 스캔 고도와 각도, 임관목의 수고 등이 영향을 미쳐 기저부 탐지에 제약이 있을 것이라 판단되며, St-Onge 외 (2014)는 항공 LiDAR가 숲틈의 경계를 직접적으로 탐지할 수는 있지만, 하층부 내부 공간의 추정에는 앞으로 증명해야 할 문제라고 언급하였다. Ma 외 (2017)은 수고, 수관기반높이, 수관부피를 2개년도 항공 LiDAR 데이터를 이용하여 침엽수가 우점하는 대상지에서의 단목단위 수목의 성장량을 정량화하는 연구를 진행하였다. 항공 LiDAR 데이터로부터 DTM, DSM, CHM(DSM-DTM)을 산출한 뒤, 나무의 성장과 관련된 요소들(나무 수고, 수관 면적, 수관부피)과 나무 성장에 영향을 미치는 요인들(본래 나무크기, 경쟁지표, 숲의 구조, 지형적 조건)을 산출하였다. 방법으로는 (1)이상치를 Gaussian 필터로 제거한 후, MWS(Marker-controlled Watershed Segmentation) 알고리즘을 이용하여 숲을 이루는 식생을 단목단위로 분류하였으며; (2)산출한 DTM으로부터 고도, 경사도, 일사량, 토양습윤도를 계산하였다. ;(3)DSM으로부터 수관면적, 수목간의 평균최근린거리(Average nearest neighborhood distance)와 수목밀도를 산출하였다. ;(4) 각 요인들 간의 상관분석을 통해 결과를 도출하였다. 장안진외 (2006)은 항공영상과 LiDAR 데이터를 이용하여 우리나라 침엽수림을 대상으로 수목의 개체 및 수고를 추정하였으며, 유역분류방법을 이용하여 개체수의 추정결과  $R^2$  값이 0.77로 비교적 높은 값을 산출하였다. 그러나 우리나라 산림의 경우 온대수림대의 낙엽활엽수가 우점하는 지역이 많아 수형의 특성상 수관이 서로 겹쳐 나타나기 때문에 혼효림 및 낙엽활엽수 우점 산림에서는 정확한 단목단위의 임관의 분류가 어려운 것으로 판단된다.

국내에서도 2000년도부터 LiDAR를 이용한 숲의 모니터링 활동이 진행 중이며, 주로 산림자원 조사방법(김은영 외 2010)에 관한 연구, 생체량 추정(이현직과 유지호, 2012; 윤미해 외 2015), 탄소 흡수량 산출(위광재 외 2011), 재해 취약성 분석(김세준 외 2014) 등 관련 분야의 다양성과 관심이 커지고 있으나, 특정 계절에 여러 시기 항공 LiDAR 데이터 비교를 통한 수관의 변화량 추정 연구는 진행되지

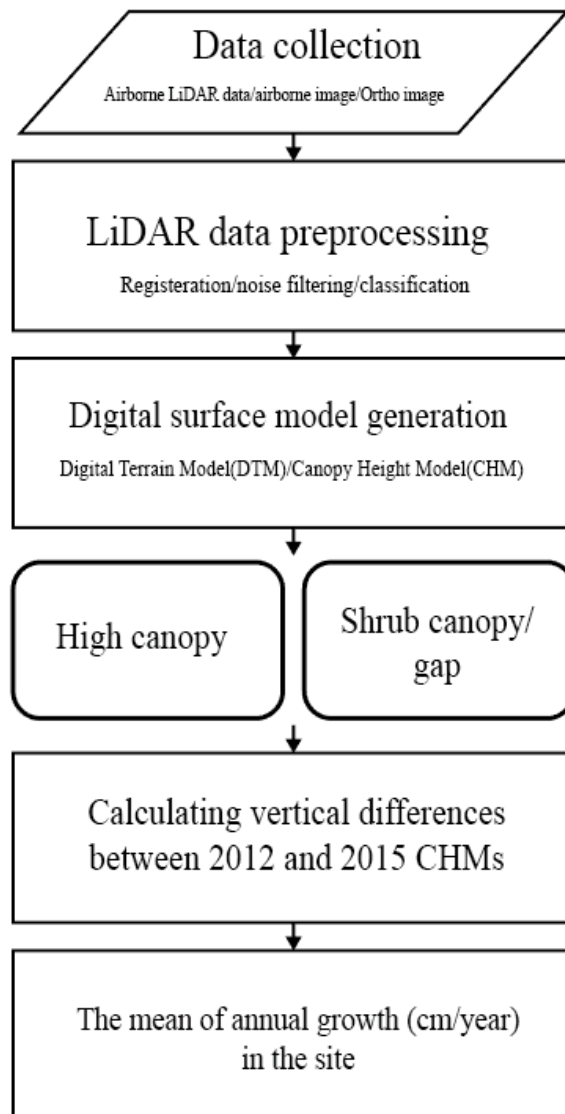
않고 있다.

국내외 기존의 산림 동태(forest dynamics)의 연구는 대부분 자연적인 산림, 보전지역 등 인위적인 영향이 최소인 곳을 대상으로 연구가 진행되어왔다. 하지만, 도시에서 녹지의 가치와 인식이 나날이 증가함에 따라 도시림 혹은 자연공원 식생의 동태 역시 지속적인 연구와 모니터링이 필요하며, 이를 위한 항공 LiDAR 데이터의 활용은 산림 동태의 추정뿐만이 아니라 산림을 이루는 식생의 수고, 지상부 생체량 추정 등 도시림 관리에 있어 핵심적인 데이터로 사용될 것으로 기대된다.

## 제3장 연구방법

### 1절 연구의 흐름

#### 1. 데이터 처리 흐름



[그림 3- 1] 데이터 처리 흐름도



전체적인 데이터 처리의 흐름은 (그림 3-1)과 같다. 항공 LiDAR 데이터 처리를 위하여 Terrasolid사의 TerraScan, Bentley사의 Microstation Connection edition 소프트웨어를 사용하였으며, ArcGIS 10.2.2 의 ‘raster calculator tool’ 을 활용하여 임상도(수중, 영급), 산림입지토양도(토성), 향, 경사도의 공간분포별 수관의 수직 생장량, 측생장지역, 교란지역을 분석하였다.

## 2절 연구 대상지

### 1. 대상지 개요

연구 대상지는 비행이 타 도시에 비해 자유로워 항공측량에 의한 LiDAR 데이터 구축이 지속적으로 이뤄지고 있는 충청남도 천안시 서북구 쌍용동에 위치한 봉서산(36.817228° N, 127.124222° E, 해발고도: 158m, 대상지 면적: 124ha)으로 기 구축된 경년 LiDAR 데이터를 이용한 도시림의 수관 변화를 추정할 수 있는 지역이다(그림 3-2).

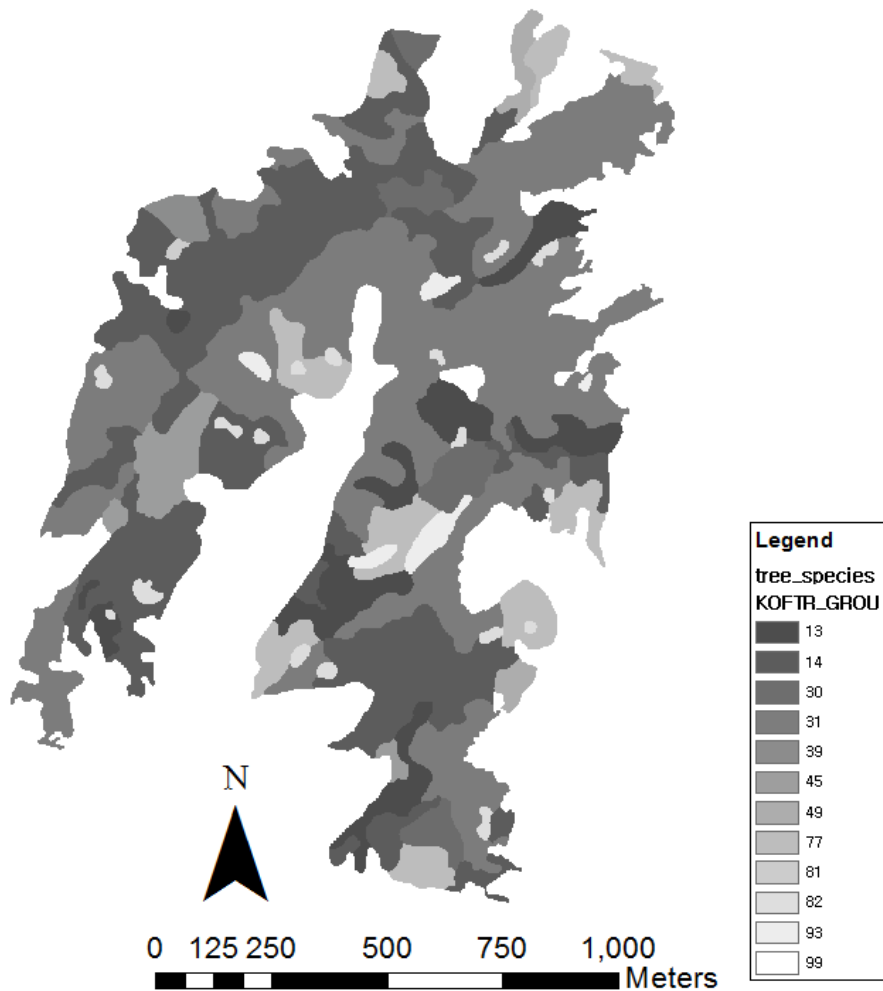
봉서산은 시가지와 인접하고 있어 시민들의 왕래가 잦으며, 각종 운동시설, 산책로, 어린이를 위한 자연 생태 학습장 등 주민들을 위한 시설들이 조성되어 있다. 대상지 주변으로 대단위 아파트 밀집지역 등 주거지와 시가지로 둘러싸여 있으며, 도로 및 주거단지 건설 등이 지속적으로 계획·시행되고 있어 도시림이 시가지 내 고립이 지속되고 있다.



[그림 3- 2] 봉서산 위치(2016년도 정사영상, 자료 출처: 국토지리정보원)

대상지는 온대중부기후대에 위치하고 있으며, 2012년과 2015년 기준으로 각각 10월 27일과 10월 26일이 단풍 절정기를 맞았다(기상청: [www.kma.go.kr](http://www.kma.go.kr)).

봉서산에 분포하는 수종으로, 상수리나무(44.8%), 리기다소나무(29.7%), 낙엽송(7.43%) 등이 우세한 것으로 조사되었으며(표 3-1, 그림 3-3), 영급이 조사된 대상지 지역(96.8%)의 85.2%가 4영급(31~40 년생의 수관점유 비율이 50% 이상), 13.8%가 3영급(21~30 년생의 수관점유 비율이 50% 이상)으로 나타나며(산림청, 임상도 자료), 전체적인 도시림을 이루는 수목의 평균 영급이 3.8영급으로 성숙한 숲을 이루는 것으로 나타났다.



[그림 3- 3] 봉서산 수종분포 (임상도 1: 5000, 자료출처: 산림청)

[표 3- 1] 봉서산 수종분포 현황(임상도 1:5000, 산림청)

Kind of trees (Code)	Area (㎡)	Ratio (%)
<i>Quercus acutissima</i> (31)	614,545.48	44.75
<i>Pinus rigida</i> (14)	407,729.54	29.69
mixed forest(77)	103,037.59	7.50
<i>Larix leptolepis</i> (13)	101,981.82	7.43
other broad-leaved tree species(30)	42,260.01	3.08
<i>Populus deltoides</i> (45)	32,670.86	2.38
Rock, trail etc(82)	20,301.57	1.48
<i>Robinia pseudoaca</i> (49)	18,491.10	1.35
farmland(93)	17,425.71	1.27
<i>Castanea crenata</i> (45)	9,327.13	0.68
etc(99)	4,295.47	0.31
unstocked land(81)	1,335.63	0.10
sum	1,373,401.92	100

### 3절 데이터 취득

#### 1. 2차원 데이터 취득

대상지의 수종분포, 토성, 영급의 정보를 취득하기 위해 산림청 홈페이지<sup>5)</sup>에서 제공하는 ‘1:5000 임상도’ 와, ‘1:5000 산림입지토양도’ 를 활용하였다. 또한 임상도의 오류를 수정하기 위하여, 국토지리정보원<sup>6)</sup>의 2016년도 하절기에 촬영된 해상도 0.51m의 정사영상과 (주)삼아항업<sup>7)</sup>으로부터 제공받은 동절기에 촬영된 해상도 0.51m의 정사영상을 활용하였다(표 3-3).

5) 산림청 홈페이지 ([www.forest.go.kr](http://www.forest.go.kr))

6) 국토지리정보원 홈페이지 ([www.ngii.go.kr](http://www.ngii.go.kr))

7) (주)삼아항업 홈페이지 (<http://www.samah.com/>)

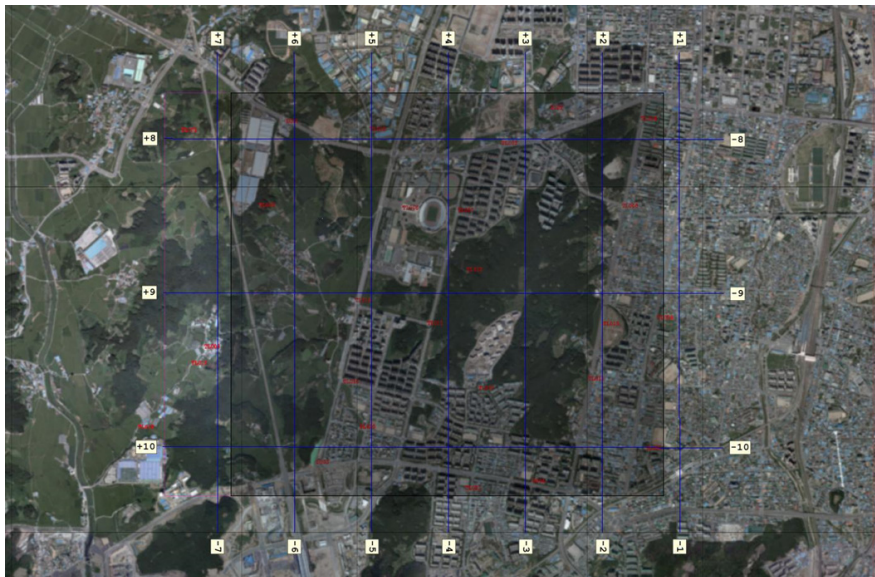


## 2. 항공 LiDAR 데이터 취득

천안시 항공 LiDAR 데이터는 (주)삼아항업으로부터 연구목적으로 제공받았으며, 점군데이터의 정보는 (표 3-3)과 같다. 2012년과 2015년의 2개년도 데이터는 항공기 탑재 LiDAR 장치를 이용하여 대상지를 포함한 천안시 일부 지역을 10개의 코스로 나뉘어져 촬영되었다(그림 3-4). 촬영에 사용된 항공 LiDAR 센서는 독일 IGI사의 LiteMapper 6800으로 센서 정보와 스캔 세팅은 (표 3-2)와 같다.

[표 3- 2] 대상지 촬영에 사용된 LiDAR 센서 정보 (주)삼아항업 제공)

IGI LiteMapper 6800	
Overlap(%)	50
Number of courses	10
Scan length(km)	38
Scan elevation(m)	1,000
Scan base elevation(m)	50
width(m)	1,155
prr(khz)	200
field of view(° )	60



[그림 3- 4] 항공 LiDAR촬영경로(자료 출처: (주)삼아항업 제공)

해당 장비의 스캔 오차는 1000m 고도에서 수직적으로  $\pm 7\text{cm}$ , 평면적(x,y 축)으로  $\pm 7\text{cm}$  이다(Geo-matching.com<sup>8)</sup>).

항공 LiDAR 데이터는 2012년 10월 9일(Day of year: 283)과 2015년 10월 30일(Day of year: 303)에 취득되었다. 데이터 취득 시기가 광릉수목원 낙엽시기인 280일에서 310일(Song and Ryu, 2015)에 있어 낙엽수의 경우 낙엽 지는 시기를 파악할 필요성이 있다. 낙엽수 중 봉서산에 우점하는 상수리나무를 살펴볼 시, 단풍 시작시기(수관의 10% 이상 단풍이 든 시점)가 10월 20~30일 사이였을 것으로 추정되며, 상수리나무의 단풍 지속기간도 약 20일 정도로 나타나기에(산림청 산림과학원<sup>9)</sup>), 낙엽이 완전히 지지 않았을 것으로 판단할 수 있다.

대상지 내(그림 3-4) 항공 LiDAR 데이터의 점군 밀도(points/m<sup>2</sup>)는 2012년도와 2015년도 각각 9.1 points/m<sup>2</sup>과 9.0pts/m<sup>2</sup>으로 유사하게 나타났다. 따라서 점군데이터를 비교하는 데 있어 이상적인 조건으로 판단된다(Hopkinson 외, 2008; Vepakomma 외, 2008; Vepakomma 외, 2011).

### 3. 현장조사 데이터

봉서산의 일반적인 현황 파악을 위하여 2016년 10월 7일 오전 11시 30분부터 13시 6분까지 현장 조사(1차)를 진행하였다. 조사는 봉서산 등산로를 중심으로 진행하였으며, 봉서산의 식생의 수종파악을 주목적으로 하였다.

2차, 3차 현장 조사는 수종분포와 더불어 LiDAR 데이터를 이용한 교란지역 탐지(숲틈지역 또는 열린 수관 지역)의 검증을 목적으로 2017년 8월 27일 11시 15분부터 13시 56분까지(2차)와 2017년 9월 26일 13시 40분부터 16시까지(3차) 진행하였다.

---

8) Geo-matching.com(<https://geo-matching.com/prodAts/id1702-igi-litemapper-6800.htm>)

9) 산림청 산림과학원 보도자료(<http://www.forest.go.kr/newkfsweb/>)

#### 4. 취득 데이터 요약

[표 3- 3] 활용 영상 정보

Data list	Resolution	Coordinate system	Purpose of utilization
Ortho imagery from National Geographic Information Institute (2016 Summer)	0.51m	Korea 2000 Central Belt 2010	For adjusting map of forest type
Ortho imagery from Samah aerial survey CO., LTD (2015년 Winter)	0.51m	Korea 2000 Central Belt	For adjusting map of forest type
Map of forest type (Korea Forest Service)	1/5000	GCS ITRF 2000	Distribution of Kind of trees and age class
산림청 산림입지토양도	1/5000	GCS ITRF 2000	Soil texture
LiDAR datasets form Samah aerial survey CO., LTD (Oct. 2012 and Oct. 2015)	9 points/m <sup>2</sup>	GCS WGS 1984	Detecting forest canopy changes
Field data	-	GCS WGS 1984	Validating forest gap

취득된 데이터는 모두 WGS 1984 UTM Zone 52N 좌표계로 변환해 준 뒤 분석을 실시하였다.

### 4절 항공 LiDAR 데이터 가공

#### 1. 항공 LiDAR 데이터 전처리(preprocessing)

항공 LiDAR 데이터의 정합(registration), 노이즈 제거, 지면/식생/건물 분류 작업을 TerraScan 소프트웨어 내 알고리즘을 이용하여 각 연도별로 진행해 주었다.

##### 1) 점군데이터 필터링(point cloud filtering)

건물이 밀집 분포하는 지역을 LiDAR 센서로 스캔 시, 건물 사이에서 반사가 일어나 정상적인 위치보다 거리가 떨어진 곳에 포인트 데이터가 생성될 수 있다. 이를 low point 데이터라 하며, 해당 점군 데이터를 TerraScan 소프트웨어<sup>10)</sup> 내

알고리즘을 이용하여 1차적으로 분류한 후, 나머지 분류되지 않은 점 데이터의 경우 수작업으로 제거해 주었다.

또한 구름 혹은 비행하는 조류가 LiDAR 센서에 탐지될 경우 다른 점군데이터와는 구별되게 높은 고도에서 점 데이터가 생성된다. 이를 air point 라고 하며, 수작업으로 제거해 주었다.

## 2) 점군데이터 분류(point cloud classification)

필터링한 점군데이터를 1차적으로 지면과 지면 외 점군데이터로 분류하는 작업을 진행하였다. 해당 작업은 TerraScan 내 알고리즘을 이용하여 지면 점군데이터를 먼저 분류하고, 그 뒤 지면으로부터의 높이, 노멀벡터(normal vector), 그룹핑(grouping) 등을 기준으로 하부·중부·상부 식생과 건물, 건물외벽, 차량 등으로 분류하였다.

## 3) 점군데이터 정합(point cloud registration)

연도별 스캔된 데이터의 높이 차이를 최소화시키기 위하여, 점군데이터의 지면 데이터를 이용하여 수치모델을 생성한 뒤(DSM: Digital Surface Model), 평지이면서 굴곡이 없는 190개의 점군데이터 박스를 샘플링 하였다. 샘플링 된 박스 내 점군데이터 높이 값의 평균을 이용하여 2015년도 점군데이터를 2012년도에 맞춰 주었다. 마지막으로, 국토지리정보원에서 제공하는 기준점1(삼각점:  $36^{\circ} 49' 02.0859''$ ,  $127^{\circ} 07' 27.3137''$ , 타원체고: 182.17m)과 기준점2(통합기준점:  $36^{\circ} 48' 50.29158''$ ,  $127^{\circ} 06' 55.92056''$ , 타원체고: 90.4528m) 데이터와 2012년도와 2015년도 LiDAR 데이터 상에서 공통으로 탐지된 지붕 옥상을 기준으로 연도 간 항공 LiDAR 데이터의 높이 차이를 최소화 하였다.

## 2. TIN(Triangulated Irregular Network) 모델 제작 및 래스터 이미지 생성

---

10) Terrasolid (<https://www.terrasolid.com/>)



연도별로 TIN 모델을 제작할 시 분류된 지면 점군데이터를 이용하여 수치지형 모델(Digital Terrain Model)을 제작하고, 지면 및 식생의 점군데이터를 이용하여 수치표면모델(Digital Surface Model)을 제작하였다.

#### 1) 수치표면모델(DSM)과 수치지형모델(DTM) 제작

본 연구에서는 점군데이터를 이용하여 그리드의 크기(해상도)가  $0.25 \times 0.25 \text{ m}^2$  인 수치표면모델(DSM)과 수치지형모델(DTM)을 생성하였다.

수관의 높이를 계산하기 위하여 래스터화 된 각 연도별 DSM과 DTM을 ArcGIS 10.2.2 상의 ‘raster calculator tool’ 을 이용하여 높이 차이를 계산하고 수관높이 모델 (CHM, Canopy Height Model)을 생성하였다.

## 5절 래스터 데이터 분류

### 1. 수관 분류

#### 1) 교목 지역(High canopy), 관목/숲틈 지역(Shrub canopy/gap) 분류

수관높이모델(CHM: Canopy Height Model)을 통해 취득된 평균수관높이(2012년 :  $10.18 \pm 5.98 \text{ m}$ , 2015년 :  $11.09 \pm 6.33 \text{ m}$ )의 절반인 5m를 기준으로, 5m 이하 지역을 관목/숲틈 지역(shrub canopy/gap), 5m 초과 지역을 교목 지역(high canopy)으로 분류하였다. 숲틈의 경우, 관목/숲틈 지역으로 탐지된 곳 중 열린 공간을 중심으로 수목들에 의해 완전히 둘러싸인 곳만을 분류하였다.

### 2. 2012년도와 2015년도 수관높이모델(CHM) 비교를 통한 생장, 교란지역 분류

2개 연도 사이의 수직방향 변화량을 탐지(change detection)하기 위하여, 각 연도의 수관높이모델의 수직적인 높이 차이를 계산하였다( $\Delta \text{CHM}_{(15-12)}$  산출).

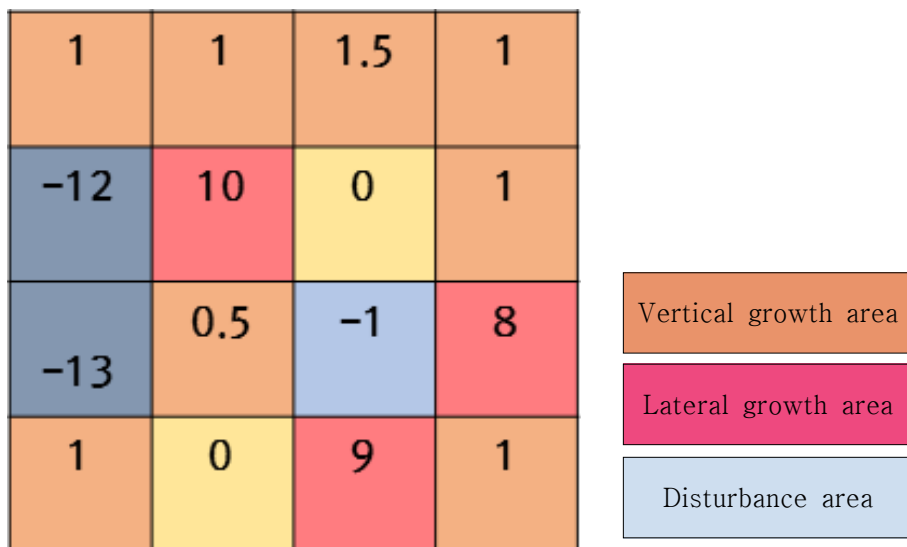
#### 1) 수직방향생장지역(vertical growth area)과 측방향생장지역(lateral growth) 추정

## 방법

봉서산을 구성하는 수목은 약 98%가 3영급(15%)에서 4영급(83%)으로 조사되었으며, 우점수종은 상수리나무(45%)와 리기다소나무(30%)로 조사되었기에, 상수리나무와 리기다소나무의 지위곡선과 성장량 측정결과(이돈구외 2000; 산림과학원, 2016)를 통해 연간 수직성장량이 0.5m/year를 넘지 못 할 것으로 가정하였다. 따라서, 3년 사이 변화량을 추정함에 있어,  $\Delta CHM_{(15-12)}$ 이 0~1.5m인 지역은 수목의 자연적인 성장의 결과로 판단하였다. 1.5m 초과지역은 2012년 LiDAR 데이터에서 지면 혹은 하층부 수관으로 분류된 지역이 2015년 데이터에는 수관의 측방향 성장(lateral growth) 등에 의해 상층부 수관으로 분류되어 나타나는 결과로 판단하였다(그림 3-5, 표 3-4).

## 2) 교란지역(disturbance area) 추정방법

교란지역은  $\Delta CHMs_{(15-12)}$ 이 0보다 작은 지역으로 가정하여 분류하였다.



[그림 3- 5]  $\Delta CHM_{(15-12)}$  차이에 따른 수관모델 분류

[표 3- 4] 래스터 데이터 분류항목

	Classification	Definition in this paper (unit : m)	Note
CHM	High canopy	$CHM > 5$	The mean of canopy surface height
	Shurb cnaopy/gap	$CHM \leq 5$	
$\Delta CHM$	Vertical growth	$0 < \Delta CHM_{(2015-2012)} \leq 1.5$	Lee et al., 2000, Korea forest research institute, 2007
	Lateral growth	$1.5 < \Delta CHM_{(2015-2012)}$	
	Disturbance	$\Delta CHM_{(2015-2012)} \leq 0$	-

## 6절 임상도(수종, 영급), 토성, 향, 경사별 수관높이모델 비교

### 1. 수관높이모델 비교 시 기준 데이터

#### 1) 임상도

산림청에서 제공하는 1:5000 임상도의 수종그룹(kind of trees)과 영급그룹(age class)을 분석에 사용하였으며, 임상도에 분류된 수종 분포지역의 정확도를 높이기 위해 하절기, 동절기의 정상영상과 임상도를 목시로 비교하여 수정하였다(표 3-5, 3-6).

[표 3- 5] 대상지 수종 현황(산림청 1:5000 임상도)

Code no. (value)	Code name	Explanation	Area(m <sup>2</sup> )
13	낙엽송( <i>Larix spp</i> )	<i>Larix leptolepis</i>	98009.13
14	리기다소나무( <i>Pinus spp</i> )	<i>Pinus rigida</i>	380616.25
31	상수리나무( <i>Quercus acutissima</i> )	<i>Quercus acutissima</i>	520487.69
39	밤나무( <i>Castanea crenata</i> )	<i>Castanea crenata</i>	9325.88
45	포플러( <i>Populus spp</i> )	<i>Populus deltoides</i>	32668.69
49	아까시( <i>Robinia pseudoaca</i> )	<i>Robinia pseudoaca</i>	15735.19

[표 3- 6] 대상지 영급 현황(산림청 1:5000 임상도)

Code no. (value)	Code name	Explanation	Area(㎡)
2	Age 2	Above 50% occupancy of 11~20 year-old trees	2941.13
3	Age 3	Above 50% occupancy of 21~30 year-old trees	161064.13
4	Age 4	Above 50% occupancy of 31~40 year-old trees	976222.75

## 2) 산림입지토양도

토성별 비교는 산림청에서 제공하는 산림입지토양도를 사용하였으며, 대상지 내 분포하는 토성과 면적은 (표 3-7)과 같다.

[표 3- 7] 대상지 토성 현황(산림청 1:5000 산림입지토양도)

Code no. (value)	Code name	Explanation	Area(㎡)
1	SL	Sandy Loam(사양토)	134514.56
2	L	Loam(양토)	774707.25
3	SiL	Silt Loam(미사질양토)	321881.69

## 3) 향(aspect)과 경사도(slope)

ArcGIS 10.2.2 상에서 2012년도의 수치지형모델(DTM)을 이용하여 향과 경사도의 분포를 래스터 이미지로 생성하였다. 향의 경우 북쪽을 0°로 하여 45° 간격으로 8장의 래스터 이미지로 분류하였다. 경사도의 경우 15° 간격의 4장의 래스터 이미지로 분류하였다(표 3-8, 3-9).

[표 3- 8] 대상지 향 분류 현황

Code no. (value)	Code name	Explanation	Area(m <sup>2</sup> )
0	NE	0° ~ 45°	103252.19
1	EN	45° ~ 90°	115446.19
2	ES	90° ~ 135°	180912.06
3	SE	135° ~ 180°	191682.63
4	SW	180° ~ 225°	133982.38
5	WS	225° ~ 270°	154735.63
6	WN	270° ~ 315°	211764.19
7	NW	315° ~ 360°	147135.06

[표 3- 9] 대상지 경사도 분류 현황

Code no. (value)	Code name	Explanation	Area(m <sup>2</sup> )
1	1	0° ~ 15°	359178.94
2	2	16° ~ 30°	695354.00
3	3	31° ~ 45°	169299.31
4	4	46° ~max	14895.44

## 2. 높이에 따른 수관높이모델 분류

### 1) 높이에 따른 수관높이모델 분류

2012년도와 2015년도 수관높이모델상에서 공통으로 5m보다 높은 수관영역을 교목 지역(high canopy)으로 분류하였으며, 2012년도와 2015년도의 수관높이모델 상에서 공통으로 5m 이하의 낮은 지역을 관목/숲틈 지역(shrub canopy/gap)으로 분류하였다. 2012년의 관목/숲틈 지역이 성장하여 2015년도에 교목 지역으로 탐지된 경우 닫힌 지역(closed canopy)으로, 2012년의 교목 지역이 2015년에 관목/숲틈 지역으로 탐지된 경우 열린 지역(open canopy)으로 분류하여, 총 4가지의 래스터 이미지를 생성하였다(표 3-10).

[표 3-10] 수관높이모델(CHM) 분류

Canopy height model Classification		$\Delta$ Canopy height model classification		
CHM(2012) & CHM(2015)	Hlgh canopy	$\rightarrow$ $\Delta$ CHM (2015-2012)	Hlgh canopy	Vertical growth
				Lateral growth
				Disturbance
	Shrub canopy/ gap		Shrub canopy/gap	Vertical growth
				Lateral growth
				Disturbance
	Closed canopy		Vertical growth	
			Lateral growth	
	Open canopy		Disturbance	

2) 비교항목별 수관높이모델을 통해 분류된 레이어 비교분석

수종, 영급, 토성, 향, 경사도 별 수관높이모델의 차이를 계산하여 수직방향생장량 평균(cm/year), 측방향생장면적(m<sup>2</sup>), 교란면적(m<sup>2</sup>)을 산출하였다(표 3-11).

[표 3-11] 비교항목

$\Delta$ Canopy height model	National Forest Service data			Digital terrain model raster	
	Kind of trees	Age class	Soil texture	Aspect	Slope
High canopy	Mean of vertical growth rate(cm/year)				
	Lateral growth area(m <sup>2</sup> )				
	Disturbance area(m <sup>2</sup> )				
Shrub canopy/gap	Mean of vertical growth rate(cm/year)				
	Lateral growth area(m <sup>2</sup> )				
	Disturbance area(m <sup>2</sup> )				
Closed canopy	Mean of vertical growth rate(cm/year)				
	Lateral growth area(m <sup>2</sup> )				
Open canopy	Disturbance area(m <sup>2</sup> )				

## 제4장 결과

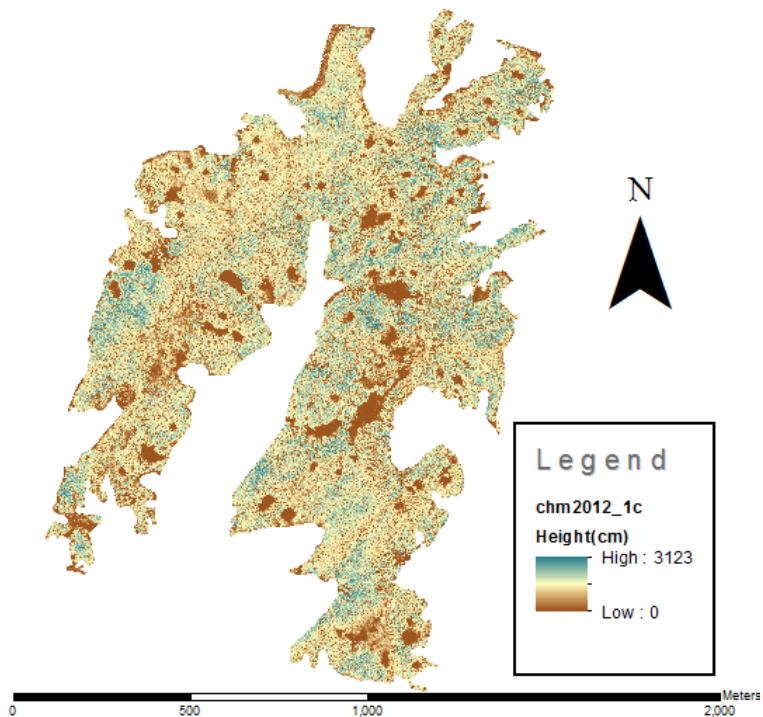
### 1절. 분석결과

#### 1. 2012년도, 2015년도 수관높이모델(CHM) 생성

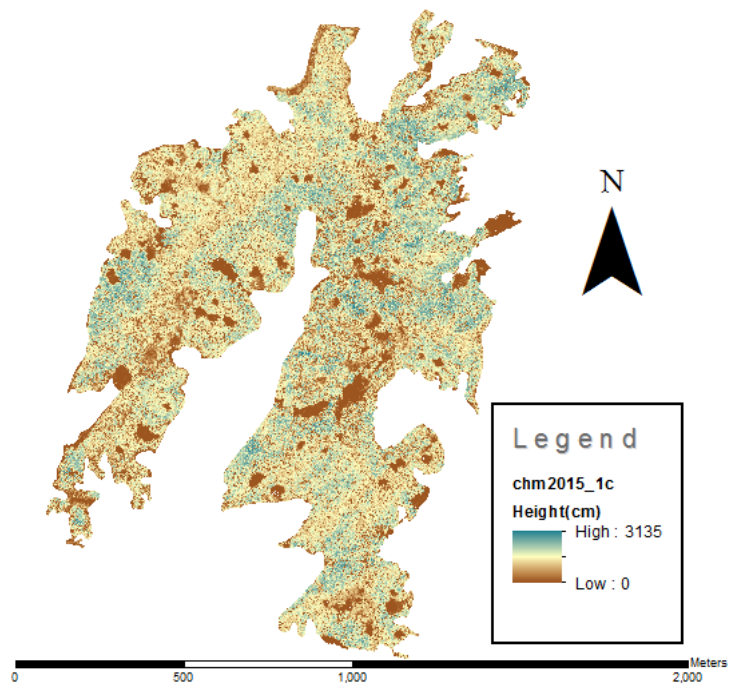
2012년도와 2015년도 수관높이모델은 (표 4-1)과 (그림 4-1, 4-2)와 같다. 2012년도에는 수관의 평균 높이가  $10.18 \pm 5.98\text{m}$ 로 나타났으며, 2015년도에는  $11.09 \pm 6.33\text{m}$ 로 나타났다.

[표 4- 1] 2012년도, 2015년도 수관높이모델 높이 평균값

	CHM(2012)	CHM(2015)
평균	$10.18 \pm 5.98\text{m}$	$11.09 \pm 6.33\text{m}$



[그림 4- 1] 2012년도 수관높이모델



[그림 4- 2] 2015년도 수관높이모델

## 2. 높이에 따른 수관높이모델 분류

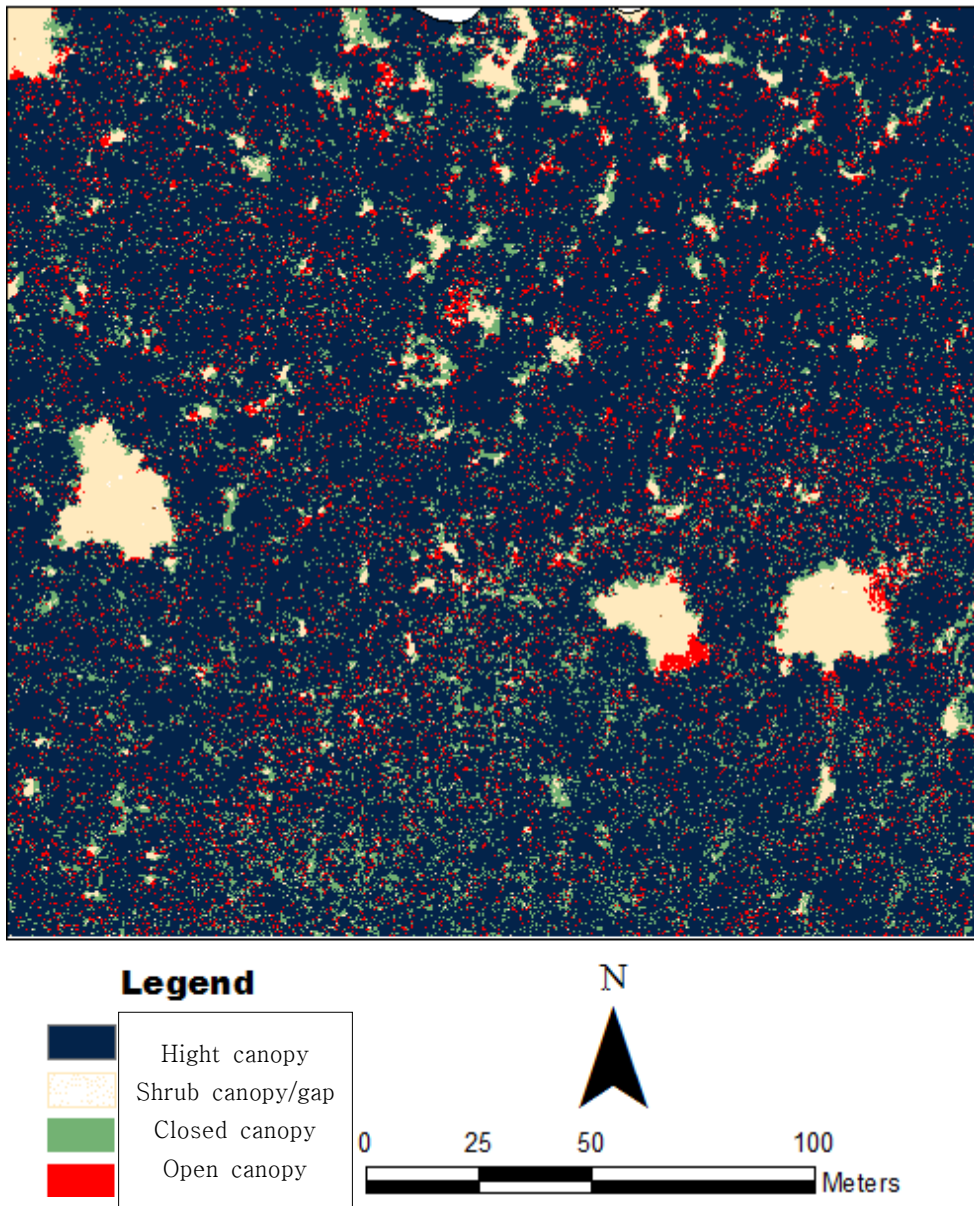
### 1) 대상지 내 교목, 관목/숲틈, 열림, 닫힌 지역 분류 결과

높이에 따른 수관높이모델의 분류결과는 (표 4-2)와 (그림 4-3)과 같다. 수관높이모델 분류 면적 107ha 중 79%의 면적이 교목 지역, 7%가 관목/숲틈 지역, 8%가 닫힌 지역, 5%가 열린 지역으로 분류되었다.

[표 4- 2] 2012년도, 2015년도 수관높이모델 분류 분포

Canopy_layer	Area(m <sup>2</sup> , percent ratio)
High canopy	847516.44 ( 79%)
Shrub canopy/gap	76636.00 ( 7%)
Closed canopy	87597.19 ( 8%)
Open canopy	55277.88 ( 5%)
Sum	1067027.50 (100%)





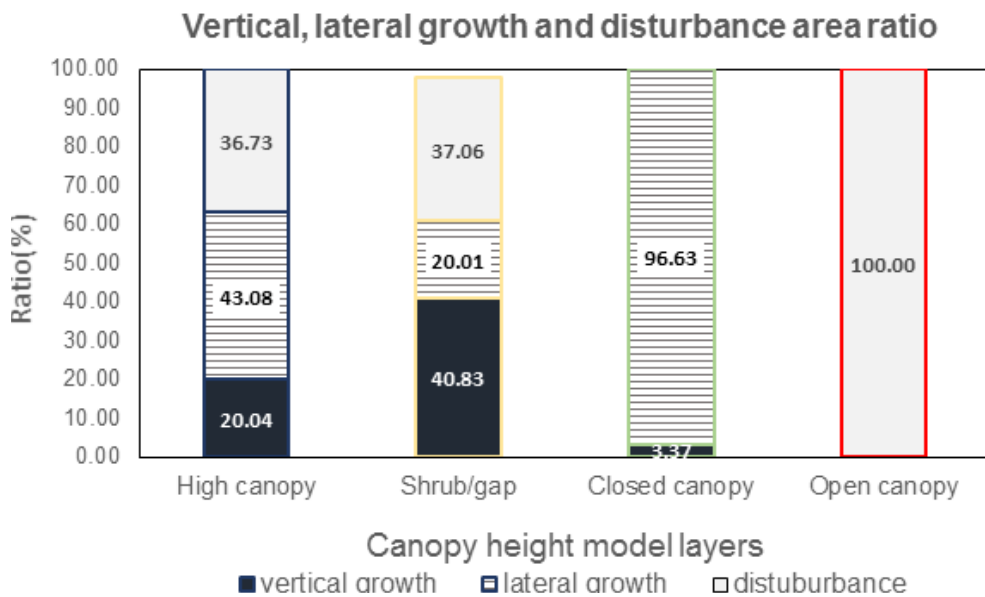
[그림 4- 3] 2012년도, 2015년도 수관높이모델을 통해 산출한 래스터 레이어(대상지 일부)

교목 지역 내 수직방향생장지역으로 분류된 면적은 전체 교목 지역 면적 (847516 m<sup>2</sup>)의 20% 로 나타났으며, 측방향생장 지역의 경우 43%, 교란 지역의 경우 37%의 면적을 차지하는 것으로 나타났다(그림 4-4).

관목/숲틈 지역 내 수직방향생장 지역으로 분류된 면적은 전체 면적(76636 m<sup>2</sup>)의 41%, 측방향생장 지역으로 분류된 지역의 면적 비율은 20%, 교란 지역으로 분류된 지역의 면적 비율은 37%로 나타났다.

단헝 지역의 경우 전체 면적(87597 m<sup>2</sup>)의 3%가 수직방향 성장지역으로, 97%가 측방향 성장지역으로 나타났다.

열린 지역의 경우 전체 대상지(55278 m<sup>2</sup>)가 교란 지역으로 분류되었다.



[그림 4- 4] 교목, 관목/숲틈, 단헝, 열린 지역 내 성장/교란지역 면적 분포

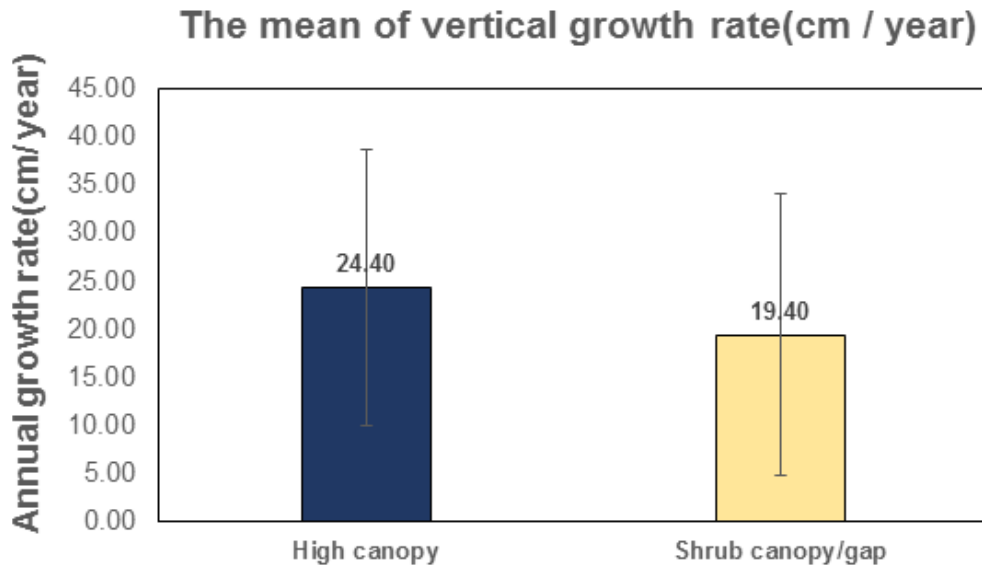
### 3. 수직방향생장지역과 연간 평균 성장량 추정 결과

#### 1) 대상지 전체 연평균 수직방향생장량(cm/year) 추정 결과

대상지 수관의 수직방향생장은 연평균 50cm/year를 초과하지 못 할 것이라는 가정 하에 2012년도와 2015년도 수관높이모델의 차가 150cm 이하로 탐지된 영역으로 정의되며, 교목 지역, 관목/숲틈 지역에서의 수직방향생장량을 추정하였다.

2012년과 2015년 사이 교목 지역에서는 수관이 24.40 cm/year의 속도로 수직방향생장한 것으로 나타났으며, 관목/숲틈 지역에서는 수관이 19.40 cm/year의 속도

로 수직방향 성장한 것으로 나타났다(그림 4-5).



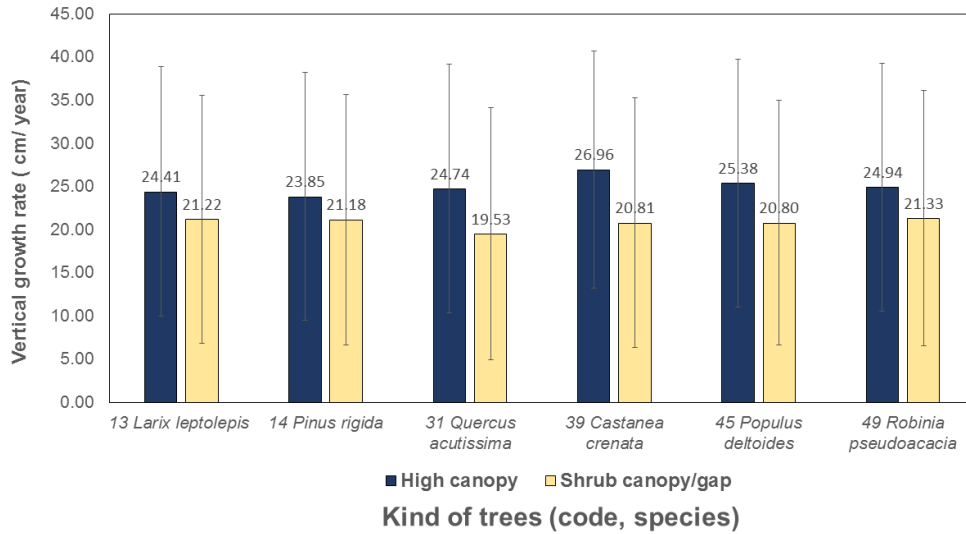
[그림 4- 5] 교목, 관목/숲틈에서의 연평균 성장량(cm/year)

## 2) 수종분포별 연평균 수직방향성장량 추정 결과

교목 지역에서의 수종분포별 평균수직성장량 추정결과는 (표 4-3)과 (그림 4-6의 남색 바 그래프)와 같다. 밤나무가 연평균 26.96 cm/year로 가장 빠르게 수직방향성장하는 것으로 나타났으며, 다음으로 포플러( $25.38 \pm 14.40$  cm/year), 아까시( $24.94 \pm 14.38$  cm/year), 상수리나무( $24.74 \pm 14.40$ cm/year), 낙엽송( $24.41 \pm 14.47$ cm/year), 리기다소나무( $23.85 \pm 14.37$ cm/year) 순으로 나타났다.

관목/숲틈 지역(표 4-3)과 (그림 4-6의 노란색 바 그래프)의 경우, 아까시 나무가 21.33cm/year 로 수고가 5m 이하인 영역에서 아까시 나무의 수직생장이 가장 빠르게 나타났다. 다음으로 낙엽송( $21.22 \pm 14.35$  cm/year), 리기다소나무( $21.18 \pm 14.50$ cm/year), 밤나무( $20.81 \pm 14.49$ cm/year), 포플러( $20.80 \pm 14.18$ cm/year), 상수리나무( $19.53 \pm 14.62$ cm/year) 순으로 나타났다.

The mean of vertical growth rate per year



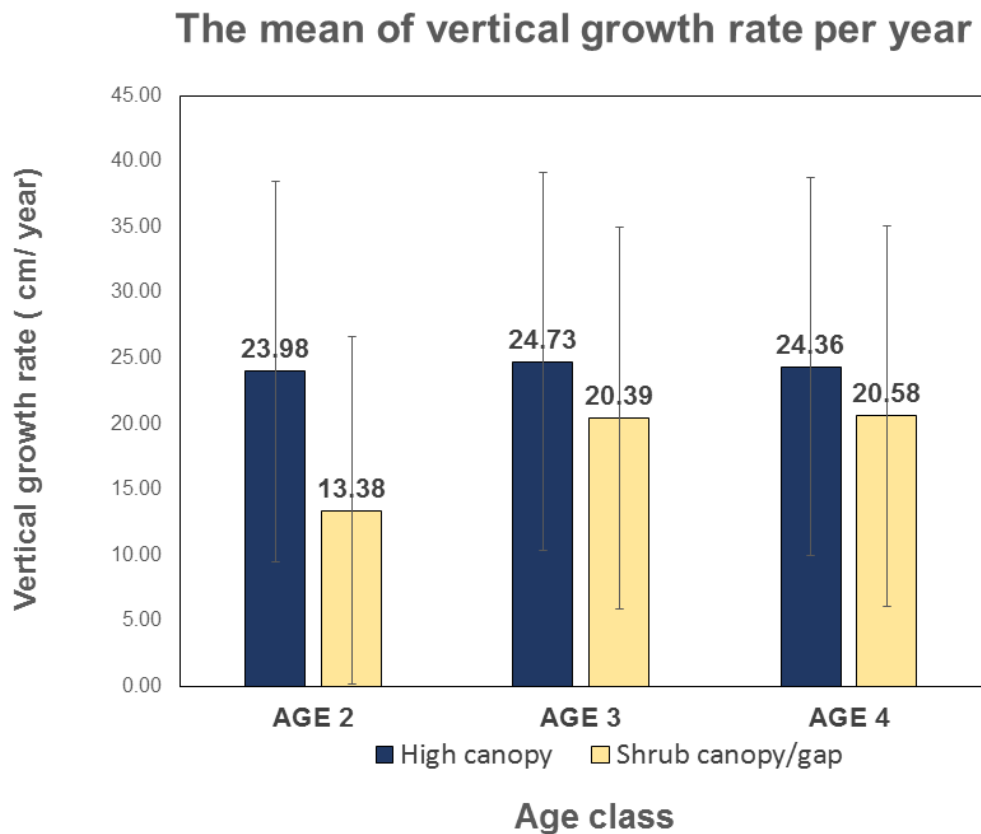
[그림 4- 6] 수종분포별 연평균 수직방향생장량(cm/year)

[표 4- 3] 수종분포별 평균수직생장량 추정결과

Canopy classification	Kind of trees	Mean $\pm$ Stand deviation(cm/year)	Area(m <sup>2</sup> )
High canopy	13 낙엽송 ( <i>Larix leptolepis</i> )	24.41 $\pm$ 14.47	12200.69
	14 리기다소나무 ( <i>Pinus rigida</i> )	23.85 $\pm$ 14.37	69441.06
	31 상수리나무 ( <i>Quercus acutissima</i> )	24.74 $\pm$ 14.40	62522.69
	39 밤나무 ( <i>Castanea crenata</i> )	26.96 $\pm$ 13.74	2049.25
	45 포플러 ( <i>Populus deltoides</i> )	25.38 $\pm$ 14.40	3219.00
	49 아까시 ( <i>Robinia pseudoacacia</i> )	24.94 $\pm$ 14.38	1585.75
Shrub canopy/gap	13 낙엽송 ( <i>Larix leptolepis</i> )	21.22 $\pm$ 14.35	1413.63
	14 리기다소나무 ( <i>Pinus rigida</i> )	21.18 $\pm$ 14.50	8128.88
	31 상수리나무 ( <i>Quercus acutissima</i> )	19.53 $\pm$ 14.62	8102.88

39 밤나무 ( <i>Castanea crenata</i> )	20.81 ± 14.49	330.69
45 포플러 ( <i>Populus deltoides</i> )	20.80 ± 14.18	2446.31
49 아까시 ( <i>Robinia pseudoaca</i> )	21.33 ± 14.80	301.56

## 2) 영급별 연평균 수직방향생장량 추정 결과



[그림 4- 7] 영급분포별 연평균 수직방향생장량(cm/year)

교목 지역에서의 영급분포별 평균수직생장량과, 수직생장지역분석결과는 (표 4-4)와 (그림 4-7: 남색 바 그래프)와 같다. 2영급에서의 연평균 수직생장량은  $23.98 \text{ cm} \pm 14.53 \text{ cm/year}$ , 3영급에서  $24.73 \pm 14.39 \text{ cm/year}$ , 4영급에서  $24.36$

± 14.40 cm/year의 속도로 수직방향생장을 진행하였다.

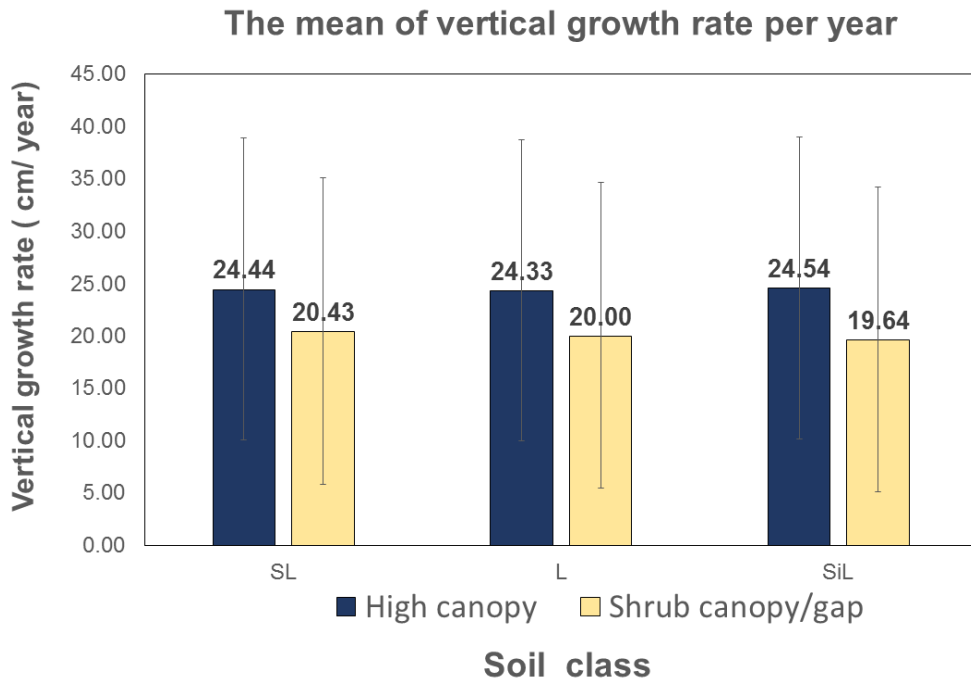
관목/숲틈 지역에서의 연평균 수직방향생장량은 2영급에서  $13.38 \pm 13.25$  cm/year, 3영급에서  $20.39 \pm 14.56$  cm/year, 4영급에서  $20.58 \pm 14.52$  cm/year의 속도로 생장한 것으로 나타났다.

[표 4- 4] 영급분포별 평균수직생장량 추정결과

Canopy classification	Age class	Mean ± Stand deviation(cm/year)	Area(m <sup>2</sup> )
High canopy	AGE 2	$23.98 \pm 14.53$	26.75
	AGE 3	$24.73 \pm 14.39$	21476.94
	AGE 4	$24.36 \pm 14.40$	138607.44
Shrub canopy/ gap	AGE 2	$13.38 \pm 13.25$	258.31
	AGE 3	$20.39 \pm 14.56$	3923.69
	AGE 4	$20.58 \pm 14.52$	19371.69

### 3) 토성별 연평균 수직방향생장량 추정 결과

교목 지역에서의 미사질양토에서는 연평균 24.54cm/year로 가장 빠르게 생장한 것으로 나타났으며, 관목/숲틈 지역에서는 사양토(SL, 20.43cm/year), 닫힌 지역에서는 SiL(미사질양토, 33.70cm/year)에서 수관의 높이 생장이 크게 나타났다.



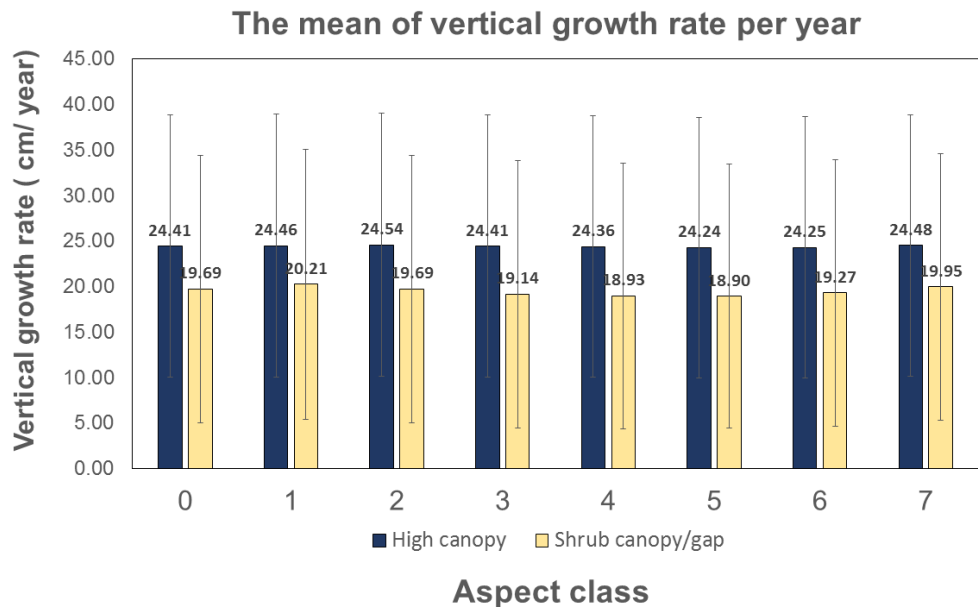
[그림 4- 8] 토성분포별 연평균 수직방향생장량(cm/year)

[표 4- 5] 토성분포별 평균수직생장량 추정결과

Canopy classification	Soil classification	Mean $\pm$ Stand deviation(cm/year)	Area(m <sup>2</sup> )
High canopy	SL	24.44 $\pm$ 14.39	18353.25
	L	24.33 $\pm$ 14.39	110136.94
	SiL	24.54 $\pm$ 14.41	39915.50
Shrub canopy/gap	SL	20.43 $\pm$ 14.65	1967.63
	L	20.00 $\pm$ 14.59	15066.63
	SiL	19.64 $\pm$ 14.57	9434.75

#### 4) 향별 연평균 수직방향생장량 추정 결과

향별 수직생장량 추정 결과, 교목 지역에서 향번호 2(ES향)에서 24.54cm/year로 가장 빠르게 성장한 것으로 나타났으며, 관목/숲틈 지역에서 향번호 1(EN, 20.21cm/year), 단한지역에서 향번호 0(NE, 33.89cm/year)에서 수관높이 생장이 크게 나타난 것으로 추정되었다.



[그림 4- 9] 향별 수직방향생장량(cm/year)

[표 4- 6] 향별 평균수직생장량 추정결과

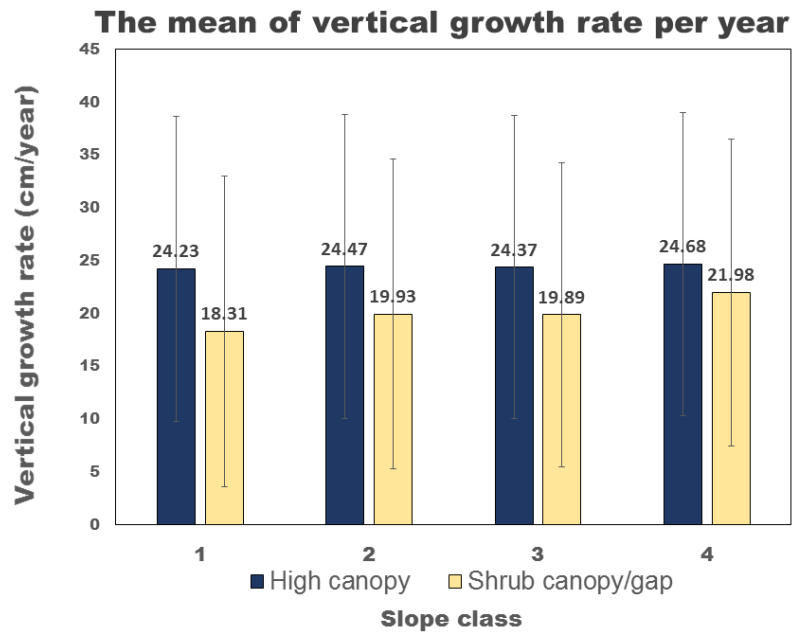
Canopy classification	Aspect classification	Mean ± Stand deviation(cm/year)	Area(m <sup>2</sup> )
High canopy	0	24.41 ± 14.40	14645.50
	1	24.46 ± 14.46	13543.50
	2	24.54 ± 14.45	21521.31



	3	24.41 ± 14.40	14645.50
	4	24.36 ± 14.37	18795.06
	5	24.24 ± 14.34	23646.06
	6	24.25 ± 14.35	31409.38
	7	24.48 ± 14.39	21638.06
Shrub canopy/gap	0	19.69 ± 14.69	2242.81
	1	20.21 ± 14.81	2800.19
	2	19.69 ± 14.70	4241.31
	3	19.14 ± 14.68	5295.94
	4	18.93 ± 14.56	3932.69
	5	18.90 ± 14.50	3895.75
	6	19.27 ± 14.64	5516.19
	7	19.95 ± 14.65	3366.31

##### 5) 경사도별 연평균 수직방향생장량 추정 결과

경사도별 수직생장량 추정 결과, 교목 지역에서 경사도 3번(20~30°)에서 24.50cm/year로 가장 빠르게 성장한 것으로 나타났으며, 관목/숲틈 지역에서 향번호 1(EN, 20.21cm/year), 닫힌 지역에서 향번호 0(NE, 33.89cm/year)에서 수관높이 생장이 크게 나타난 것으로 추정되었다.



[그림 4-10] 경사도별 연평균 수직방향생장량(cm/year)

[표 4- 7] 경사도별 평균수직생장량 추정결과

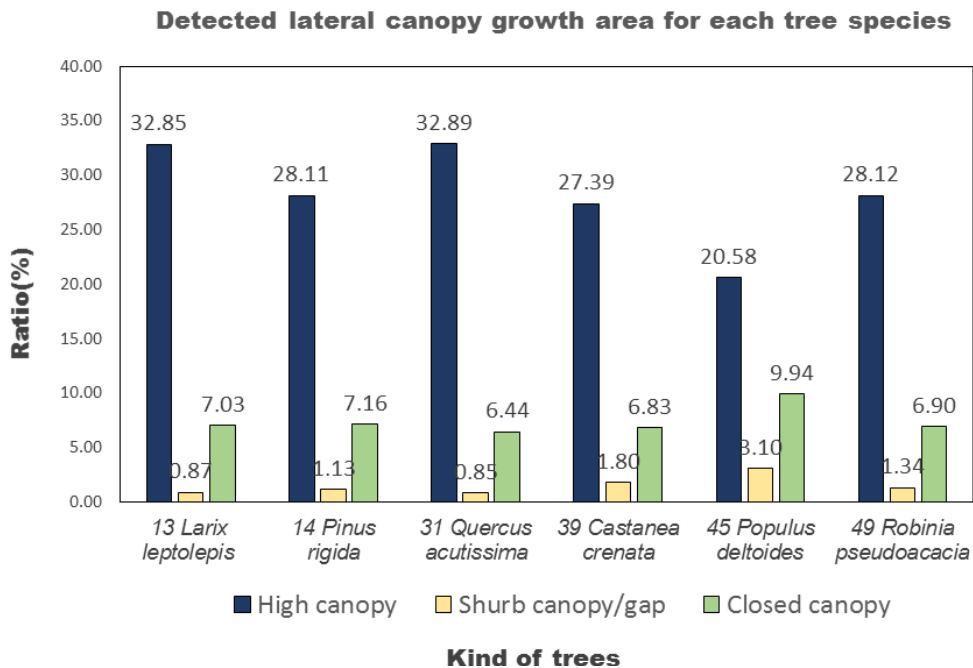
Canopy classification	Slope classification	Mean ± Stand deviation(cm/year)	Area(m <sup>2</sup> )
High canopy	1	24.23 ± 14.43	43152.63
	2	24.47 ± 14.39	96806.00
	3	24.37 ± 14.35	27442.88
	4	24.68 ± 14.35	2401.19
Shrub canopy/gap	1	18.31 ± 14.70	11045.94
	2	19.93 ± 14.65	14974.13

3	19.89 ± 14.41	4517.25
4	22.00 ± 14.51	746.75

#### 4. 측방향생장지역과 탐지 결과

##### 1) 수종별 측방향생장 탐지 면적

2012년과 2015년 사이 교목 지역에서는 리기다소나무(32.9%)와 상수리나무(32.9%)가 다른 수종들에 비하여 측방향 성장면적이 넓게 나타났으며, 포플러 수종이 20.6%로 측방향생장 면적이 가장 작게 나타났다. 관목/숲틈 지역에서는 반면 포플러 나무의 측방향생장 지역이 3.1%로 가장 높게 나타났으며, 단한지역에서도 역시 포플러 수종의 측방향 생장이 9.9%로 가장 높게 나타났다.



[그림 4-11] 수종별 측방향생장지역 면적 비율

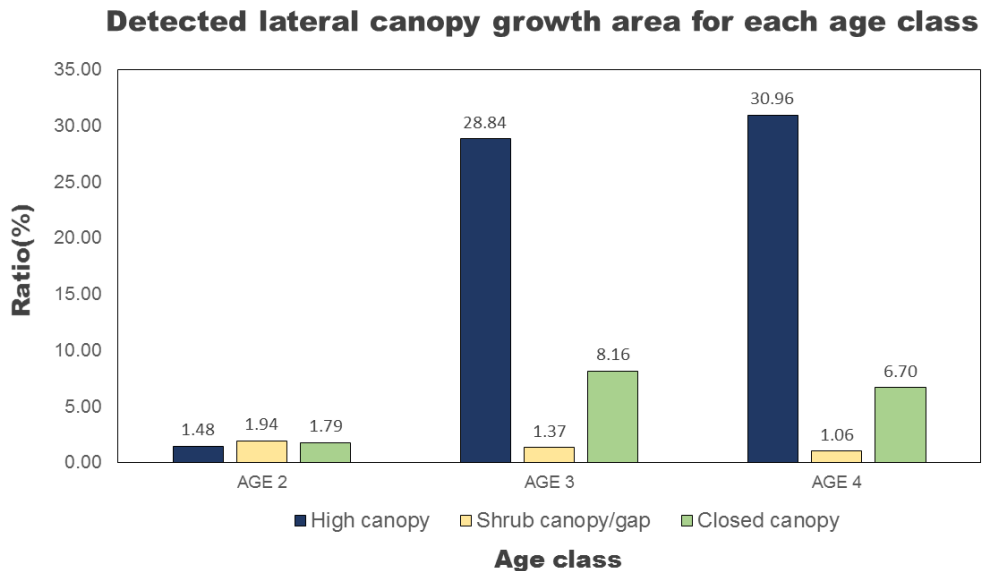
[표 4- 8] 수종분포별 측방향생장면적과 비율

Canopy classification	Kind of trees	Area(m <sup>2</sup> )	Ratio(%)
High canopy	13 낙엽송 ( <i>Larix leptolepis</i> )	32197.81	32.85
	14 리기다소나무 ( <i>Pinus rigida</i> )	107007.19	28.11
	31 상수리나무 ( <i>Quercus acutissima</i> )	171172.31	32.89
	39 밤나무 ( <i>Castanea crenata</i> )	2554.00	27.39
	45 포플러 ( <i>Populus deltoides</i> )	6723.63	20.58
	49 아까시 ( <i>Robinia pseudoaca</i> )	4424.13	28.12
shrub canopy/gap	13 낙엽송 ( <i>Larix leptolepis</i> )	853.44	0.87
	14 리기다소나무 ( <i>Pinus rigida</i> )	4287.81	1.13
	31 상수리나무 ( <i>Quercus acutissima</i> )	4435.25	0.85
	39 밤나무 ( <i>Castanea crenata</i> )	168.00	1.80
	45 포플러 ( <i>Populus deltoides</i> )	1011.31	3.10
	49 아까시 ( <i>Robinia pseudoaca</i> )	210.31	1.34
Closed canopy	13 낙엽송 ( <i>Larix leptolepis</i> )	6887.44	7.03
	14 리기다소나무 ( <i>Pinus rigida</i> )	27248.00	7.16
	31 상수리나무 ( <i>Quercus acutissima</i> )	33495.88	6.44
	39 밤나무 ( <i>Castanea crenata</i> )	636.81	6.83
	45 포플러 ( <i>Populus deltoides</i> )	3245.81	9.94
	49 아까시 ( <i>Robinia pseudoaca</i> )	1086.13	6.90

## 2) 영급별 수관높이모델분류 층의 측방향생장 면적

3영급에서 교목 지역의 경우 25.4%의 면적이 측방향 성장한 것으로 탐지되었으며, 4영급에서는 30.2%로 3영급 탐지된 면적보다 더 넓은 면적이 측방향 성장한 것으로 탐지되었다. 관목/숲틈 지역의 경우 3영급에서 1.2%, 닫힌지역에서 1.0%의 면적이, 닫힌지역의 경우 3영급에서 7.2%, 4영급에서 6.5%의 면적이 측방향성장 지역으로 탐지되었다.

2012년도와 2015년도 사이 측방향성장면적 탐지 결과 2영급의 모든 수관높이 층에서 0.5% 미만만이 측방향성장지역으로 탐지되었다.



[그림 4-12] 영급별 측방향성장지역 면적 비율

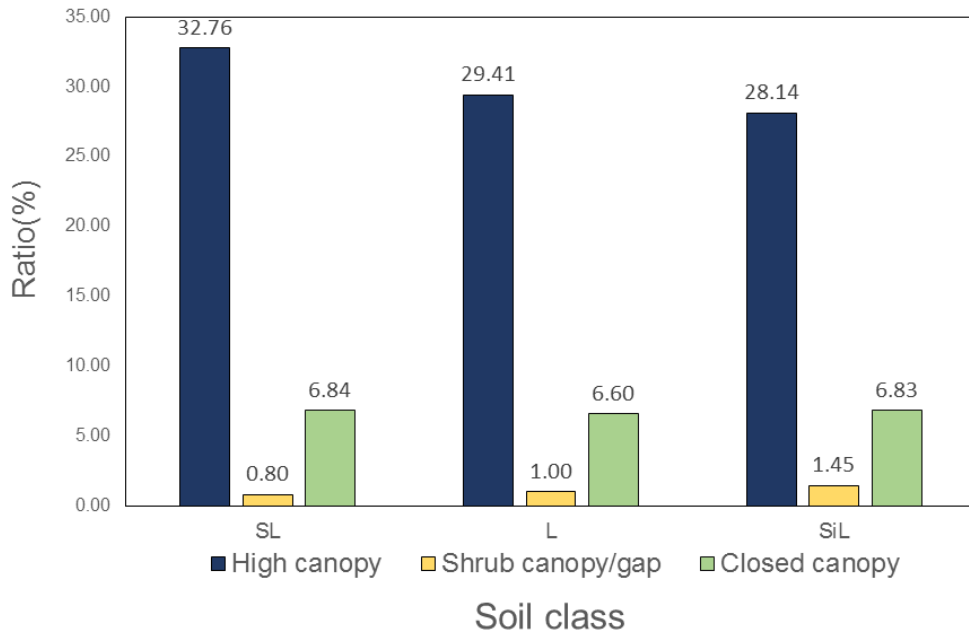
[표 4- 9] 영급분포별 측방향생장면적과 비율

Canopy classification	Age class	Area(m <sup>2</sup> )	Ratio(%)
High canopy	AGE 2	43.44	1.48
	AGE 3	46456.81	28.84
	AGE 4	302244.94	30.96
Shrub canopy/gap	AGE 2	57.13	1.94
	AGE 3	2199.69	1.37
	AGE 4	10311.50	1.06
Closed canopy	AGE 2	52.50	0.40
	AGE 3	13146.69	8.16
	AGE 4	65367.38	6.70

### 3) 토성별 수관높이모델분류 층의 측방향생장 면적

2012년과 2015년 사이 교목 지역에서는 사양토에서 수관의 측방향생장지역이 32.8%의 면적으로 탐지되어, 양토(29.4%), 미사질양토(28.1%)보다 넓게 나타났다. 관목/숲틈 지역의 경우 미사질양토에서 측방향생장이 1.5%의 면적만큼 일어나 양토, 미사질양토에 비하여 측방향생장이 넓게 나타났으며, 닫힌지역의 경우 미사질양토에서 6.8%로 상대적으로 가장 넓게 측방향 생장지역이 탐지되었다.

### Detected lateral canopy growth area for each soil class



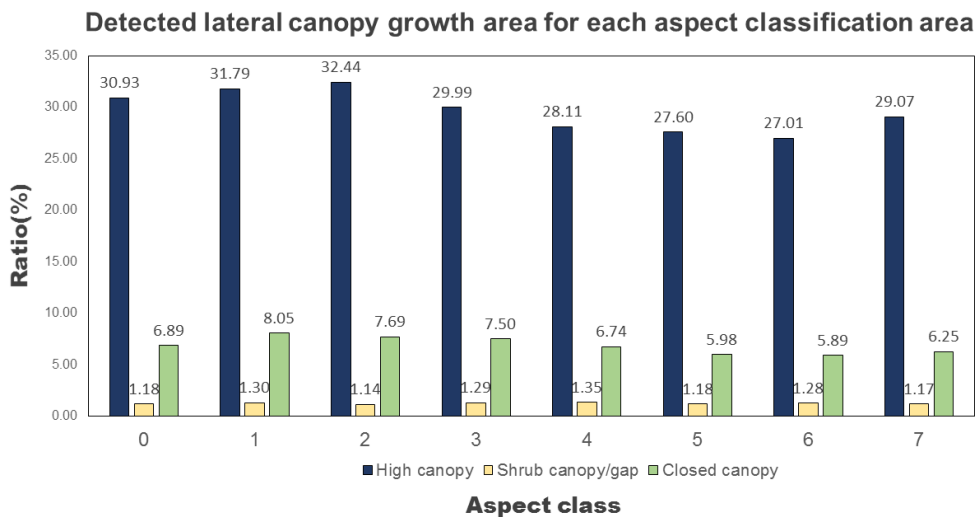
[그림 4-13] 토성별 측방향생장지역 면적 비율

[표 4-10] 토성분포별 측방향생장면적과 비율

Canopy classification	Soil classification	Area(㎡)	Ratio(%)
High canopy	SL	705064.00	32.76
	L	3644956.00	29.41
	SiL	1449228.00	28.14
Shrub canopy/gap	SL	17190.00	0.80
	L	123431.00	1.00
	SiL	74527.00	1.45
Closed canopy	SL	147200.00	6.84
	L	818135.00	6.60
	SiL	351612.00	6.83

#### 4) 향별 수관높이모델분류 층의 측방향생장 면적

2012년과 2015년 사이 교목 지역에서는 향번호 2번(ES) 방향에서 측방향생장지역이 32.44%로 가장 넓게 나타났으며, 다음으로 1번(EN) 방향에서 31.79%의 면적에 측방향생장지역이 탐지되었다. 반면 6번(WN) 방향에서 27.01%로 측방향생장지역 면적이 가장 작게 나타났다. 관목/숲틈 지역에서는 향번호 4번(SE) 방향에서 측방향생장지역이 1.35%로 가장 높게 나타났다. 단한지역층의 경우 향번호 3번, 4번에서 0.27%의 면적이 측방향생장지역으로 탐지되었다.



[그림 4-14] 향별 측방향생장지역 면적 비율

[표 4-11] 향별 측방향생장면적과 비율

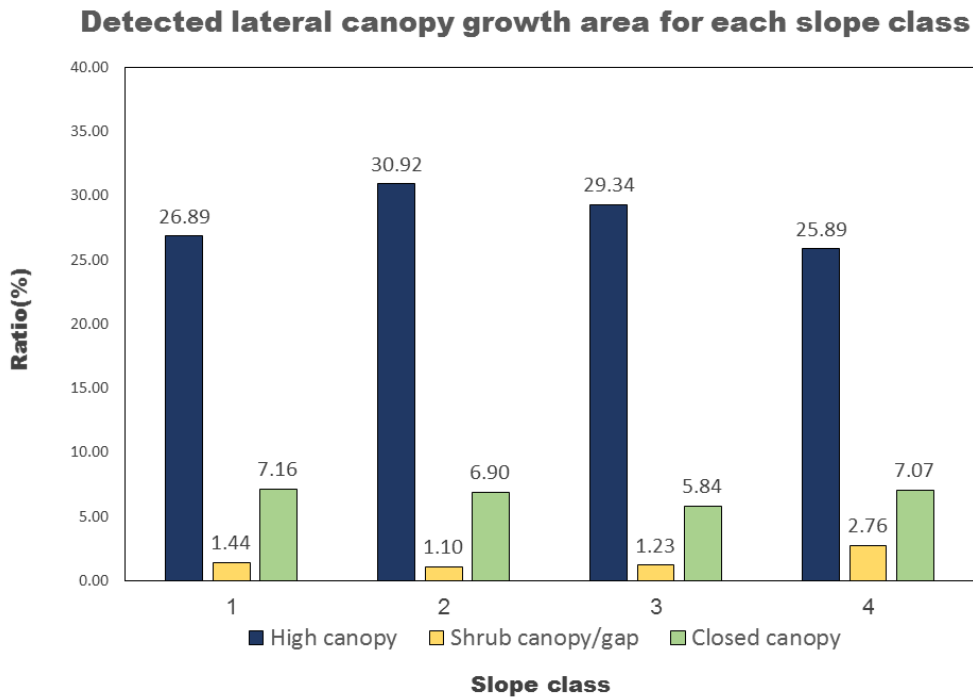
Canopy classification	Aspect classification	Area(㎡)	Ratio(%)
High canopy	0	31933.56	30.93
	1	36697.88	31.79
	2	58692.38	32.44
	3	57484.25	29.99



	4	37660.63	28.11
	5	42703.31	27.60
	6	57201.88	27.01
	7	42774.06	29.07
Shrub canopy/gap	0	1214.88	1.18
	1	1500.19	1.30
	2	2060.75	1.14
	3	2481.31	1.29
	4	1807.13	1.35
	5	1832.31	1.18
	6	2714.38	1.28
	7	1721.00	1.17
Closed canopy	0	7109.38	6.89
	1	9295.75	8.05
	2	13913.69	7.69
	3	14372.13	7.50
	4	9032.13	6.74
	5	9253.19	5.98
	6	12471.88	5.89
	7	9198.25	6.25

##### 5) 경사도별 수관높이모델분류 층의 측방향생장 면적

교목 지역의 경우 경사도 4번( $30\sim40^\circ$ ), 3번( $20\sim30^\circ$ )에서 측생장면적이 각각 31.3%와 31.0%로 가장 높게 나타났다.



[그림 4-15] 경사도별 측방향생장지역 면적 비율

[표 4-12] 경사도별 측방향생장면적과 상대적 비율

Canopy classification	Slope classification	Area(㎡)	Ratio(%)
High canopy	1	96583.38	26.89
	2	215001.50	30.92
	3	49671.44	29.34
	4	3856.13	25.89
Shrub canopy/gap	1	5181.75	1.44

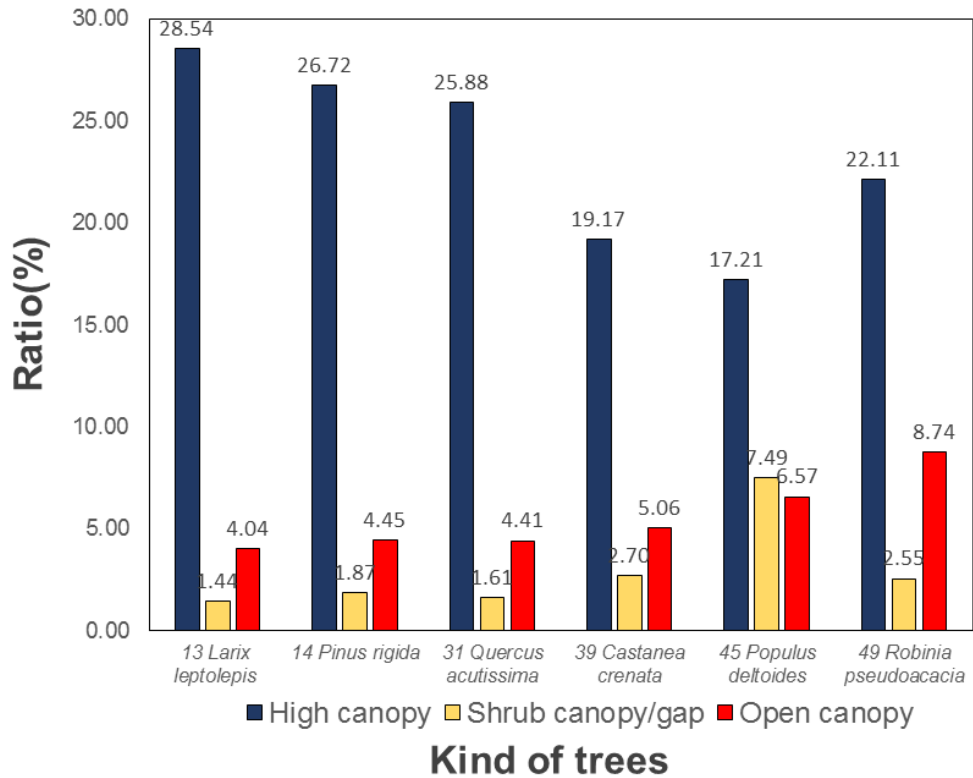
	2	7658.06	1.10
	3	2077.50	1.23
	4	411.69	2.76
Closed canopy	1	25704.75	7.16
	2	47998.63	6.90
	3	9879.88	5.84
	4	1052.94	7.07

## 5. 교란지역과 탐지 결과

### 1) 수종별 수관높이모델분류 층의 교란지역 면적

수종별 교란지역의 상대적인 면적은 교목 지역의 경우 낙엽송 수종이 28.5%로 가장 큰 비율을 차지하였으며, 포플러 수종이 17.2%로 가장 작은 비율을 차지하였다. 반대로, 관목/숲틈 지역에서는 포플러 수종 분포지역에서 7.5%의 가장 큰 비율의 교란이 발생하였으며, 낙엽송 수종 분포지역에서 1.4%의 면적비율이 교란 지역으로 탐지되었다. 열린 지역(열린지역)에서는 아까시 수종 분포지역에서 8.74%로 가장 큰 비율로 교란지역이 탐지되었다.

## Detected disturbance area for each kind of trees



[그림 4-16] 수종별 교란지역 면적 비율

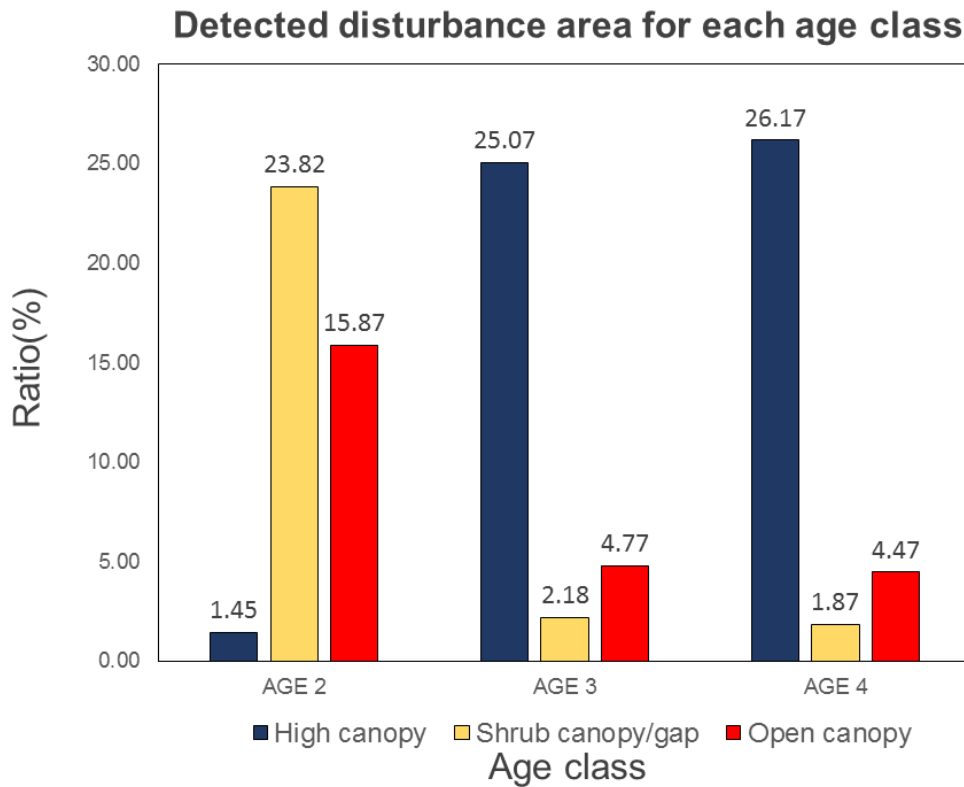
[표 4-13] 수종분포별 교란지역면적과 비율

Canopy classification	Kind of trees	Area(㎡)	Ratio(%)
High canopy	13 낙엽송 ( <i>Larix leptolepis</i> )	27973.88	28.54
	14 리기다소나무 ( <i>Pinus rigida</i> )	101705.94	26.72
	31 상수리나무 ( <i>Quercus acutissima</i> )	134704.19	25.88
	39 밤나무 ( <i>Castanea crenata</i> )	1787.56	19.17

	45 포플러 ( <i>Populus deltoides</i> )	5623.44	17.21
	49 아까시 ( <i>Robinia pseudoaca</i> )	3479.38	22.11
Shrub canopy/gap	13 낙엽송 ( <i>Larix leptolepis</i> )	1408.88	1.44
	14 리기다소나무 ( <i>Pinus rigida</i> )	7102.13	1.87
	31 상수리나무 ( <i>Quercus acutissima</i> )	8391.44	1.61
	39 밤나무 ( <i>Castanea crenata</i> )	251.56	2.70
	45 포플러 ( <i>Populus deltoides</i> )	2447.88	7.49
	49 아까시 ( <i>Robinia pseudoaca</i> )	401.81	2.55
Open canopy	13 낙엽송 ( <i>Larix leptolepis</i> )	3963.69	4.04
	14 리기다소나무 ( <i>Pinus rigida</i> )	16931.31	4.45
	31 상수리나무 ( <i>Quercus acutissima</i> )	22967.75	4.41
	39 밤나무 ( <i>Castanea crenata</i> )	471.50	5.06
	45 포플러 ( <i>Populus deltoides</i> )	2147.75	6.57
	49 아까시 ( <i>Robinia pseudoaca</i> )	1375.13	8.74

## 2) 영급별 수관높이모델분류 층의 교란 면적

영급 분류지역별 수관높이모델에서의 교란탐지면적의 경우 교목 지역의 경우 4영급에서 25.6%로 가장 크게 탐지되었으며, 관목/숲틈 지역의 경우 3영급(1.92%)에서, 열린지역의 경우 4영급(4.4%)에서 가장 크게 탐지되었다.



[그림 4-17] 영급별 교란지역 면적 비율

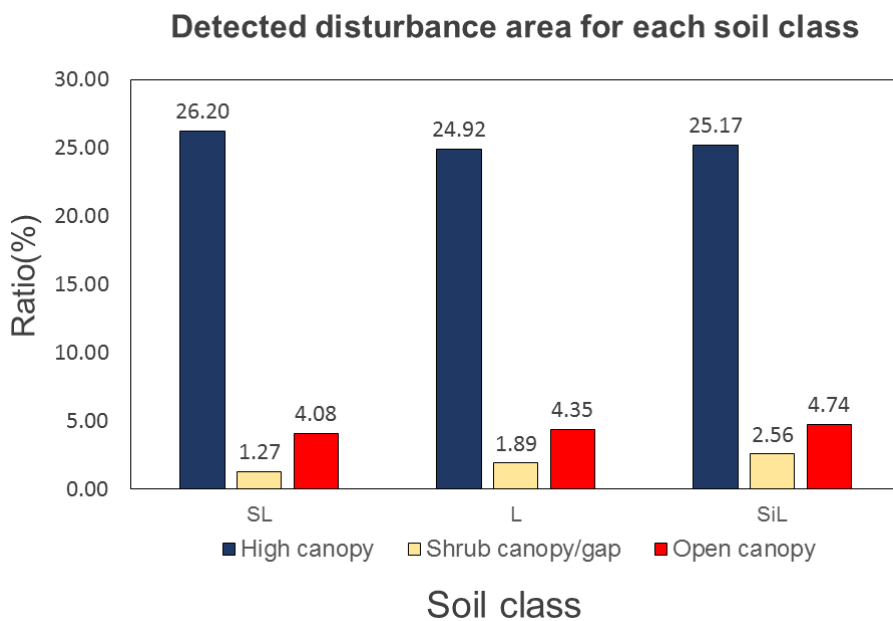
[표 4-14] 영급분포별 교란지역면적과 비율

Canopy classification	Age class	Area(㎡)	Ratio(%)
High canopy	AGE 2	42.63	1.45
	AGE 3	40380.75	25.07
	AGE 4	255471.31	26.17
Shrub	AGE 2	700.69	23.82

canopy/gap	AGE 3	3509.69	2.18
	AGE 4	18214.13	1.87
Open canopy	AGE 2	466.69	15.87
	AGE 3	7685.25	4.77
	AGE 4	43639.75	4.47

### 3) 토성별 수관높이모델분류 층의 교란 면적

토성별 분류된 지역에서의 수관높이모델의 교란지역 면적의 경우 교목 지역의 사질양토에서 26.2%가 교란지역으로 탐지되어 가장 높게 나타났다. 관목/숲틈 지역의 경우 미사질양토에서 2.6%, 열린지역에서 미사지 양토에서 4.7%로 교란지역이 탐지되었다.



[그림 4-18] 토성별 교란지역 면적 비율

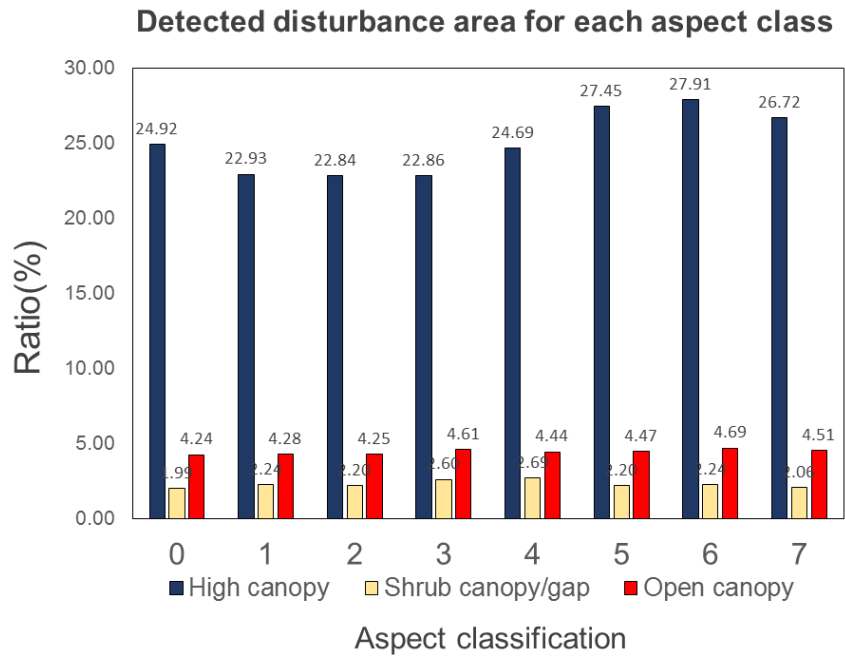
[표 4-15] 토성분포별 교란지역면적과 비율

Canopy classification	Soil classification	Area(㎡)	Ratio(%)
High canopy	SL	35237.06	26.20
	L	193034.56	24.92
	SiL	81019.06	25.17
Shrub canopy/gap	SL	1701.69	1.27
	L	14672.94	1.89
	SiL	8243.50	2.56
Open canopy	SL	5487.63	4.08
	L	33723.63	4.35
	SiL	15241.56	4.74

#### 4) 향별 수관높이모델분류 층의 교란 면적

향별 분류된 지역에서의 수관높이모델의 교란지역 면적의 경우 교목 지역의 향 번호 5번(SW), 6번(WS), 7번(WN)에서 각각 27.5%, 27.9%, 26.7%로 다른 향에서보다 높게 나타났으며, 향번호 2번(EN)에서 22.8%로 가장 작은 면적의 교란지역이 탐지되었다.





[그림 4-19] 향별 교란지역 면적 비율

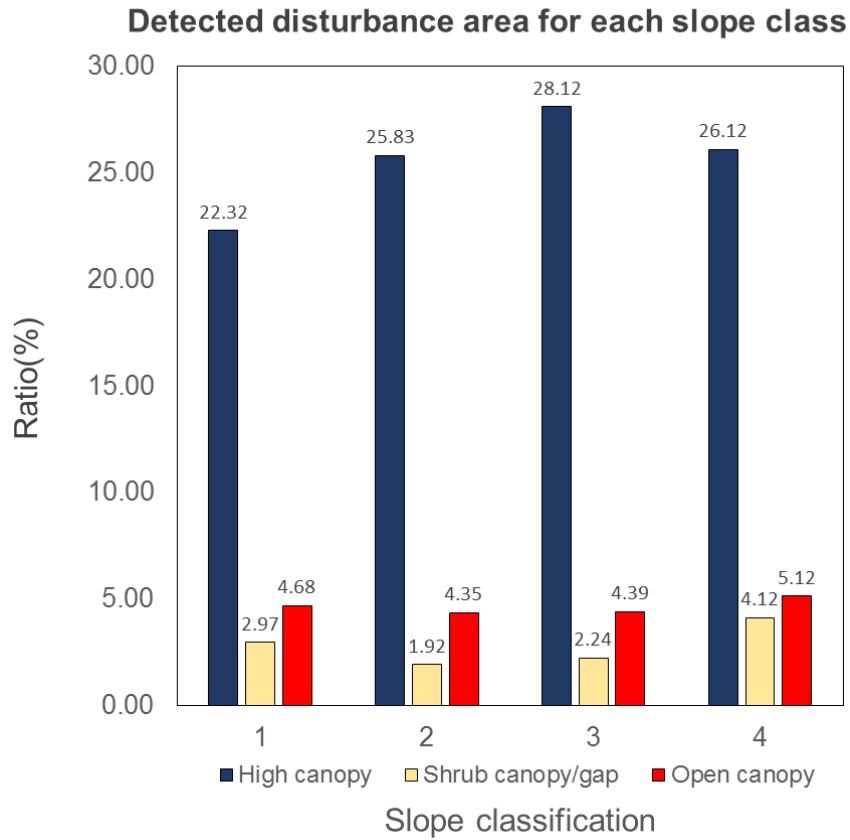
[표 4-16] 향별 교란지역면적과 비율

Canopy classification	Aspect classification	Area(㎡)	Ratio(%)
High canopy	0	25734.38	24.92
	1	26475.38	22.93
	2	41319.69	22.84
	3	43809.38	22.86
	4	33083.25	24.69
	5	42470.50	27.45
	6	59105.13	27.91
	7	39312.06	26.72

Shrub canopy/gap	0	2050.13	1.99
	1	2590.75	2.24
	2	3987.88	2.20
	3	4990.13	2.60
	4	3609.56	2.69
	5	3396.88	2.20
	6	4745.88	2.24
	7	3031.81	2.06
Open canopy	0	4378.13	4.24
	1	4938.88	4.28
	2	7697.31	4.25
	3	8829.06	4.61
	4	5949.81	4.44
	5	6912.13	4.47
	6	9933.25	4.69
	7	6639.31	4.51

##### 5) 경사도별 수관높이모델분류 층의 교란 면적

경사도별 분류된 지역에서의 수관높이모델의 교란지역 면적의 경우 교목 지역의 경사도 7번, 6번, 5번 다른 경사도에서보다 높게 나타났다.



[그림 4-20] 경사도별 교란지역 면적 비율

[표 4-17] 경사도별 교란지역면적과 비율

Canopy classification	Slope classification	Area(㎡)	Ratio(%)
High canopy	1	80152.38	22.32
	2	179630.00	25.83
	3	47603.63	28.12
	4	3890.19	26.12
Shrub	1	10672.13	2.97

canopy/gap	2	13319.25	1.92
	3	3791.69	2.24
	4	613.63	4.12
Open canopy	1	16818.81	4.68
	2	30257.19	4.35
	3	7430.88	4.39
	4	763.13	5.12

## 6. 숲틈의 탐지 결과

### 1) 숲틈 탐지

숲틈의 탐지는 각 연도별 수관높이모델의 높이가 5m 이하인 지역이면서 면적이 5 m<sup>2</sup> 이상인 지역만을 숲틈으로 정의하여 분석을 진행하였다.

[표 4-18] 2012년도와 2015년도 탐지된 숲틈의 평균 면적과 패치 수

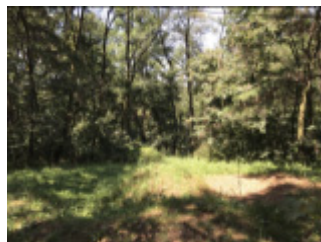
Year	Total area(m <sup>2</sup> )	Mean area(m <sup>2</sup> )	Number of patches
2012	102697.46	46.36 ± 291.08	2215
2015	81669.61	48.47 ± 236.03	1685

숲틈탐지결과 2012년도와 2015년도 사이 숲틈의 면적(21027.85m<sup>2</sup>)과 패치의 수(530지역)가 감소한 것으로 추정되었으나, 2015년도 숲틈 패치들의 평균 면적은 2.11m<sup>2</sup> 증가한 것으로 탐지되었다(표 4-18).

## 7. 열린지역, 숲틈 현장검증 결과



[그림 4-21] 2016년 10월 7일 현장답사 사진(왼), 답사경로 맵핑(오)



[그림 4-22] 현장 조사 사진  
(사용 어플리케이션 : GPS kit ;  
사진 정보- 촬영일자 : 2017년  
8월 26일 오후 12시 13분/ 위  
치: 36° 48' 43.77N 127°  
7' 33.47E 151m); KML



[그림 4-23] GPS  
장 비 ( G A R M I N  
GPSmap 60CS)



[그림 4-24] 구글 어  
스 상에 KML(노란색)  
및 GPS 데이터(파란  
색) 맵핑 모습

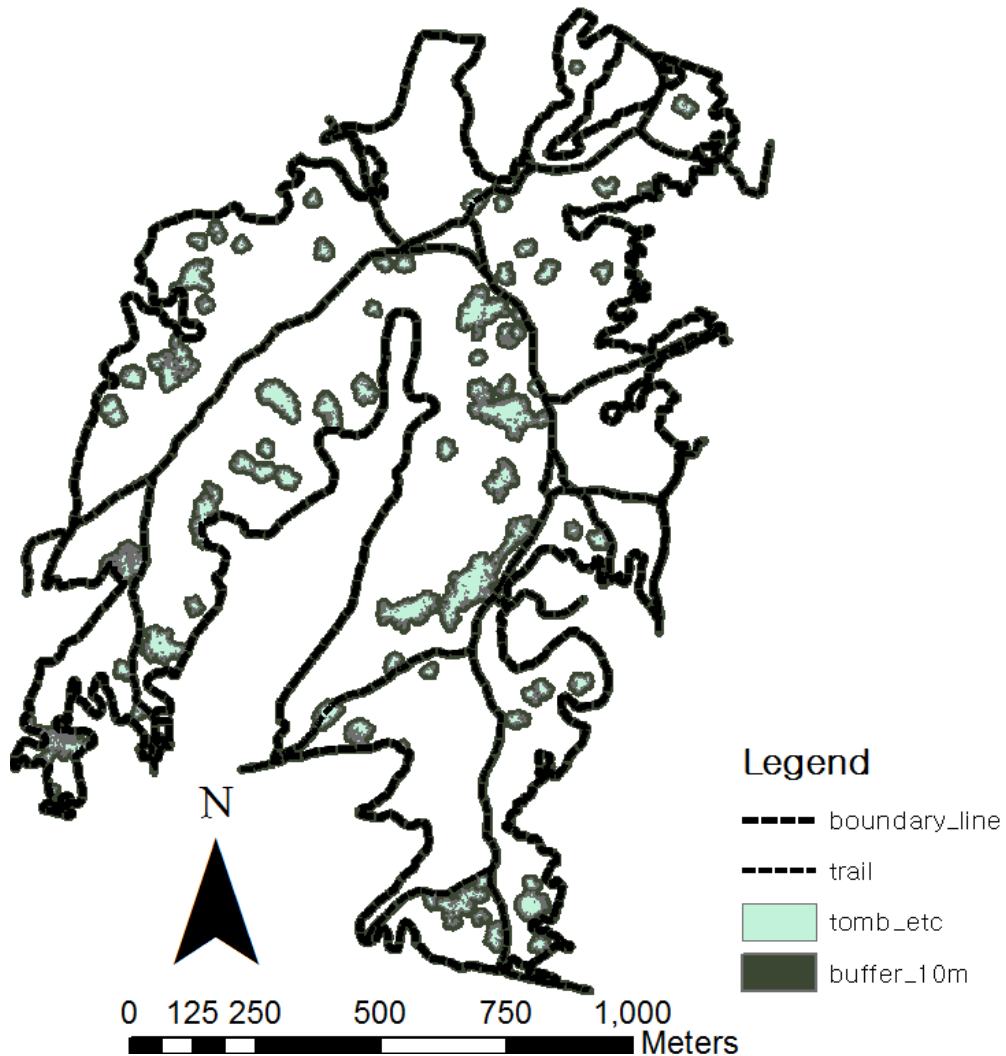
숲틈 탐지의 정확도 검증을 위하여 2012년도와 2015년도 수관높이가 -5m 이상 차이가 나면서 면적이 5㎡인 지역의 위치좌표를 출력한 뒤, 2017년 9월 26일 gps 장비를 이용하여 해당 위치에서의 숲틈 여부를 조사하였다. 전체 27 지점을 gps 장비를 이용하여 필드 조사하였으며, 그 중 23지점(85.2%)이 열린지역 또는 숲틈으로 조사되었다(표 4-19).

[표 4-19] 열린지역, 숲틈 조사 지역

Point number	Location of sampled gap centers		Note
	x coordinate	y coordinate	
1	332595	4074893	tree fall(east)
2	332632	4074906	tree mortal
3	332710	4074945	no gap
4	332731	4075016	broken
5	332721	4075050	tree fall(NW)
6	332742	4075113	tree fall(NW)
7	332684	4075339	no gap
8	332704	4075442	tree fall(NW)
9	332736	4075471	broken
10	332836	4075656	no gap
11	332673	4076033	cemetery relocation
12	332673	4076142	cemetery
13	332697	4076213	ground off
14	332615	4076182	ground off
15	332557	4076103	tree mortal
16	332525	4076108	cemetery
17	332293	4075973	tree fall(NW)
18	332174	4075845	tree fall(NE)
19	332152	4075828	tree fall(NE)
20	332085	4075706	gap, maintenance
21	332057	4075681	no gap
22	332061	4075660	tree mortal
23	332062	4075552	tree fall
24	332038	4075448	gap
25	332021	4075298	trail
26	332026	4075272	maintenance
27	331977	4075278	tree mortal

#### 8. 인위적 교란 발생지역, 대상지 경계의주변의 생장량과 교란 추정 결과

인위적인 요소 중 묘지, 경작지와 산책로, 공원 경계로부터의 인접성이 수직방향 생장량과 교란에 영향을 미치는지 추정하고자 묘지, 경작지, 산책로, 공원경계로부터 10m의 버퍼를 생성한 뒤, 버퍼 내부와 그 외 지역의 수직방향생장량과 교란지역의 면적을 추정하였다(그림 4-25).



[그림 4-25] 대상지 경계, 산책로, 묘지, 경작지 경계로부터 10m 버퍼지역(초록색)

#### 1) 연평균 수직방향생장량

교목 지역층에서의 수직방향생장량은 (표 4-20)과 같다. 버퍼 내부(인위적인 요소 인접지역)에서는  $24.28 \pm 14.42$  cm/year의 수직방향생장한 것으로 나타났으며, 버퍼 바깥에서는  $24.44 \pm 14.38$  cm/year의 수직방향생장량이 나타났다.

[표 4-20] 버퍼내부와 바깥의 연평균 수직방향생장량

Vertical growth rate	Inside buffer	Outside buffer
Mean	$24.28 \pm 14.42$ cm/year	$24.44 \pm 14.38$ cm/year

#### 1) 교란지역 평균 면적 비교

교란지역의 경우  $5\text{m}^2$ 이 넘는 면적을 대상으로 비교하였으며, 버퍼 내부의 경우 232개의 교란 패치가 탐지되었다. 평균 면적은  $20.13 \pm 40.80\text{m}^2$ 으로 나타났으며, 패치크기의 최대값은  $447.00\text{m}^2$ 으로 나타나 교란면적의 크기의 범위가 넓음을 알 수 있다. 버퍼 외부의 경우 전체 183개의 교란지역 패치가 탐지되었으며, 평균은  $14.61 \pm 16.00\text{m}^2$ , 최대값은  $103.88\text{m}^2$ 로 탐지되었다(표 4-21).

[표 4-21] 버퍼내부와 외부의 교란면적

Disturbance area	Mean( $\text{m}^2$ )	Maximum( $\text{m}^2$ )
Inside buffer	$20.13 \pm 40.80$	447.00
Outside buffer	$14.61 \pm 16.00$	103.88



## 제5장 고찰

### 1절. 결과 고찰

#### 1. 연평균 수관 생장량

##### 1) 교목 지역과 관목/숲틈 지역의 수직방향생장량

숲틈(forest gap)에서는 광환경과 같은 환경적인 요인이 수목의 생장에 유리하게 작용하여 수목의 생장을 촉진시키는 것으로 알려져 있다(Yamamoto and Shin-Ichi, 1992). 하지만, 본 연구의 결과에서는 관목/숲틈 지역에서의 생장량이 19.4 cm/year로, 교목 지역에서의 생장량(24.4 cm/year) 보다 작게 나타났다(대상지 전체 연평균 수직방향 생장량: 22.8 cm/year). 이는 대상지가 도시림으로 관목/숲틈 지역으로 분류된 지역의 43%의 면적이 경작지, 묘지 등 인위적인 간섭이 수시로 발생하는 지역이기에 나타나는 결과로 보인다.

##### 2) 교목 지역에서의 수직방향생장량

교목 지역에서 수종, 영급, 토성, 향, 경사도 별 수관의 연평균 수직방향생장량의 결과는 수종에 따라 그 차이가 가장 명확하게 나타났다(밤나무 : 27 cm/year; 리기다소나무 : 24 cm/year). 이는 대상지 내 교목의 높이 생장이 비교 항목 중 수종의 영향을 가장 크게 받기에 나타나는 결과로 보인다.

##### 3) 관목/숲틈 지역에서의 수직방향생장량

관목/숲틈 지역에서 수종, 영급, 토성, 향, 경사도 별 수관의 연평균 수직방향생장량의 결과는 영급에서 가장 차이가 크게 나타난다(2영급: 13 cm/year; 3, 4영급: 20~21 cm/year). 일반적으로 수목의 나이가 증가할수록 생장 속도가 줄어드는데, 본 연구 결과에서는 반대로 나타났다. 이는 2영급으로 분류된 지역에서 2012년도와 2015년도 사이 교란(경작활동 또는 임목 벌채)이 발생하여 연평균 높이차이가

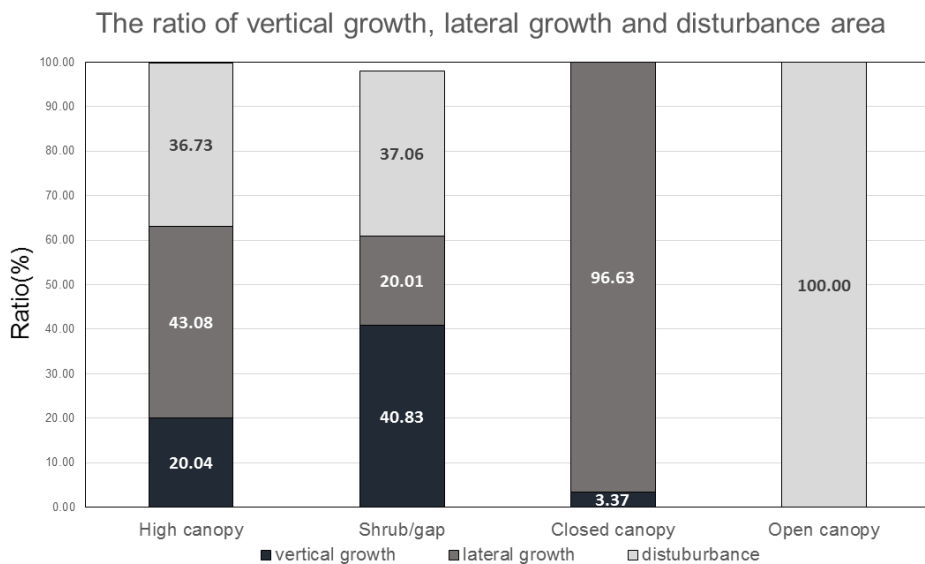
크게 줄어 나타난 결과로 보인다.

#### 4) 지위지수 비교

지위지수란 임분 단위에서 우세수목의 수고와 연령을 통해 임분의 생산량을 나타내는 것으로, 리기다 소나무 지위지수곡선(국립산림과학원, 2007)을 살펴보면 30년생의 리기다 소나무의 수직방향 성장량이 광릉지역에서 29.4cm/year의 속도로 자라는 것으로 추정되었다. 본 연구결과 리기다소나무의 성장량은 교목 지역층에서 23.9cm/year 나타나 광릉수목원에 분포하는 리기다소나무의 성장량과는 차이가 있는 것으로 나타났다. 이는 본 연구의 대상지가 도시 내 녹지로 주변 환경으로부터의 스트레스에 취약하기 때문에 나타나는 결과일 가능성이 있다.

2016년도 국립산림과학원의 보고서에 따른 지위지수 표를 보게 되면, 리기다소나무의 경우 지위 10과 12 사이, 상수리나무의 경우 지위지수 14와 16 사이, 낙엽송의 경우 지위지수 16과 18 사이에 위치하는 것을 알 수 있다.

## 2. 성장지역 면적 분포



[그림 5- 1] 교목, 관목/숭툼, 단헝, 열림 지역 내 성장지역 및 교란지역 면적 분포

### 1) 교목 지역

2012년도와 2015년도에 교목 지역으로 분류된 곳의 면적 비율은 전체 대상지의 79%(847516m<sup>2</sup>)로 대상지의 전반적인 생장·교란 지역의 특성을 설명해 준다.

생장지역의 경우, 수직방향생장이 발생한 곳이 교목 지역의 20%로, 측방향생장이 발생한 곳(43%)보다 좁게 분포하는 것을 알 수 있다. 이는 몇 가지 상황들을 고려해 볼 필요성이 있다. 먼저, 대상지의 평균 영급이 3.8의 비교적 성숙한 숲을 이루기에 수직적인 높이생장이 비교적 느리게 발생하기에 나타나는 결과일 수 있다. 또 한 가지로, 빛에 의한 수목 간 경쟁의 결과를 들 수 있다(Schwinning and Weiner, 1998; Potvin and Dutilleul, 2009). 대상지는 산림으로 수목밀도가 높아 광환경에 유리한 조건을 가지고자 수목 간 경쟁이 활발히 일어나는 공간이다. 광환경은 수목의 수관 크기, 구조 등을 결정하는 가장 중요한 요소일 수 있다고 알려져 있는데(Grams and Andersen, 2007), 대상지의 수목이 수직방향의 길이생장을 하는 것보다, 측방향 생장을 통해 수관면적을 넓혀 광환경에 유리한 위치를 차지하고자 한 결과로 해석될 수 있다.

수종별로 비교 시 수종에 따른 측방향 생장 비율의 차이는 크게 나타나(상수리나무, 낙엽송: 33%; 리기다소나무, 아까시 : 28%; 밤나무: 27%; 포플러: 21%), 수종별 생리적 특성이 측방향 생장에 크게 영향을 미치는 것을 알 수 있다.

영급별로 비교 시, 2영급에서의 측방향 생장지역 면적비율(1.48%)이 3·4영급에서의 측방향 생장 지역 면적 비율(3영급: 29%; 4영급: 31%)보다 매우 작게 나타남을 알 수 있다. 이는 2영급으로 분류된 지역이 경작 또는 벌목 활동이 일어나는 지역으로 수목의 생장활동이 거의 일어나지 않는 지역이기에 나타나는 결과로 보인다.

토성별로 비교 시, 사질양토(SL)에서 측방향생장 면적이 33%로 나타나, 수관의 생장이 가장 활발하게 나타났다. 다음으로 양토(L)에서 29%, 미사질양토(SiL)에서 28% 순으로 나타났다. 이는 대상지에서 상수리나무(44.8%), 리기다소나무(29.7%), 낙엽송(7.43%)이 주로 우점 하는데, 해당 수종들이 주로 사질양토(SL)와 양토(L)에

서 잘 생육하기에(Tree world<sup>11)</sup>) 나타나는 결과로 보인다.

향별 비교 시, 동남향(2번)에서 측방향생장지역이 상대적으로 가장 넓게 분포하는 것으로 나타났으며(32%), 서북향(6번)에서 상대적으로 가장 좁게 분포하는 것으로 나타났었다(27%). 전체적인 향별 경향이 북향에서 동남향으로 갈수록 성장지역이 상대적으로 넓어지며, 다시 서향과 서북향으로 갈수록 성장지역이 상대적으로 좁아지는 것을 확인할 수 있다. 이는 광환경에 의한 수목의 성장활동이 결과에 영향을 미친 것으로 추측해 볼 수 있다.

## 2) 관목/숲틈 지역

2012년도와 2015년도에 관목/숲틈 지역으로 분류된 지역의 면적 비율은 전체 대상지의 7%(76636㎡)로 나타난다. 관목/숲틈 지역에서는 다른 지역에서와는 달리 측방향 성장지역의 면적이 차지하는 비율이 20%로 수직방향성장지역의 면적비율 41%보다 좁게 분포하는 것으로 나타났다. 이는 관목/숲틈 지역으로 분류된 지역의 경우 유목 등이 성장하는 공간으로 수직방향 생장이 측방향 성장보다 우세하게 발생하기에 나타나는 결과로 판단될 수 있다. 또한 해당 지역에 5m 이상의 키 큰 나무들이 없기에, 측방향 성장을 하였으나, 높이가 150cm보다 낮아 수직방향 성장지역으로 분류되어 나타난 결과일 가능성도 있다.

## 3) 닫힌 지역과 열린 지역

2012년도와 2015년도에 대상지의 수관이 닫힌 지역은 전체의 8% (87597.19㎡)로 나타났다. 그 중 97%가 측방향 성장에 의해 닫힌 것으로 나타났으며, 3%만이 수직방향 성장에 의해 닫힌 것으로 나타났다. 이는 2012년도와 2015년도 사이 대상지에서 숲틈과 같은 열린 공간이 닫힐 때, 유리한 광환경을 위한 교목의 측방향 생장이 어린 나무 등의 수직방향 성장보다 빠르게 발생하여 나타난 결과로 보인다.

---

11) 수목도감: <http://treeworld.co.kr/company>

### 3. 교란지역 면적 분포

#### 1) 교목 지역과 관목/숲틈 지역

교목 지역과 관목/숲틈 지역은 각각 해당 지역 면적의 37%를 차지하는 것으로 나타나 전반적으로 대상지에서 2012년도와 2015년도 사이 1/3 이상의 수관이 피해를 입은 것으로 해석된다. 이는 대상지가 도시림으로, 평상시 사람들의 왕래가 잦으며, 산책로, 경작지, 묘지 등을 주변으로 별초, 간벌, 벌목 등 다양한 인위적 교란 행위들이 발생하면서 생기는 결과로 보인다.

향별 분류된 지역에서의 수관높이모델의 교란지역 면적의 경우 교목 지역의 향번호 5번(SW), 6번(WS), 7번(WN)에서 각각 27.5%, 27.9%, 26.7%로 다른 향에서보다 높게 나타나 서쪽 향에서 교란이 동쪽향보다 넓게 발생하였음을 알 수 있으며, 향번호 2번(EN)에서 22.8%로 가장 작은 면적의 교란지역이 탐지되었다.

#### 2) 열린 지역

열린 지역의 면적은 전체 대상지의 5%로 나타났다. 대상지 전체 교란면적 비율이 42%로 나타나는 것으로 봤을 때, 교란지역의 12% 정도에서 비교적 큰 피해가 발생한 것을 알 수 있다.

#### 3) 대상지내 교란발생지역

수종별 교란지역의 상대적인 면적은 교목 지역층의 낙엽송 분포지역에서 28.5%로 가장 큰 비율로 발생하였으며, 다음으로 리기다소나무 분포지역에서 27.7%로 교란이 발생하여, 다른 활엽수 수종 분포지역에 비해 상대적으로 교란에 취약함을 알 수 있다.

교란지역의 밀도분포는 특히 산책로와 대상지 경계에 따라 뚜렷하게 나타나는 것을 확인할 수 있다. 대상지 경계의 경우 개발(도로, 터널, 아파트단지 건설) 등에 의해 비교적 큰 면적의 녹지가 훼손된 것을 확인할 수 있으며, 산책로 주변의 경우 등산객에 의해 영향을 받는 것과 더불어 천안시청 공원관리과에서 산책로

주변 등을 지속적으로 정비해 주기에 교란지역 밀도가 넓게 분포하는 것으로 보인다. 그 외에도 동쪽 산줄기의 서향 지역과 서쪽 산줄기의 동향 지역 사이의 경우 아파트 단지 주민들의 활동, 경작 활동 등이 해당 지역에 교란을 발생시켰을 가능성도 있다.

(표 4-20)을 보면 결과에서 언급했던 바와 같이 일부 인위적인 교란요소 부근(10m) 이내에서 5㎡이상의 교란지역이 232곳, 바깥에서 183곳이 발견된 것을 알 수 있으며, 면적의 평균 크기, 표준편차, 최대값이 모두 내부가 외부보다 높게 나타나는 것을 알 수 있다. 버퍼 외부지역의 면적이 808052.81㎡으로, 버퍼 내부지역(544578.81㎡)보다 약 1.5배 정도 큰 것을 감안한다면, 해당 인위적 교란 요소들이 대상지 교란에 큰 영향을 미치는 것으로 판단된다.

인위적인 교란 외에도 (그림 5-2)와 (그림 5-3)처럼 쪼개 등에 의해 교란되어 수목이 고사하거나, 태풍과 같은 자연적인 요소들에 의해서도 대상지 내에서 교란이 발생하는 것을 확인 할 수 있다.

열린 지역 중 면적이 5㎡이상인 지역을 대상으로 현장에서 확인해 본 결과, 전체 27개 지점 중 23개 지점이 열린 지역으로 검증되었으며, 23개 지역 중 14개 지역(61%)가 자연적인 요인에 의해 교란되어 열린 것으로 조사되었다.



[그림 5-2] 쪼개에 의해 교란이 발생한 리기다소 나무 분포 지역(대상지 서쪽 산책로 입구부분)



[그림 5-3] 대상지 내 자연적으로 쓰러진 수목

#### 4) 숲틈 생성지역과 현장 검증

숲틈탐지결과 2012년도와 2015년도 사이 숲틈의 면적은 21027.85㎡ 감소하였으며, 패치의 수 역시 530지역이 감소한 것으로 추정되었다. 대상지 전반에 걸쳐 생장지역으로 탐지된 면적 비율이 60%로, 교란지역(40%)보다 높으면서, 수관이 닫힌 지역의 면적(8%)이 열린 지역의 면적(5%)보다 높기에 숲틈의 면적이 감소한 것으로 보인다. 하지만, 2015년도 숲틈 패치들의 평균 면적은 2012년도 대비 2.11㎡ 증가한 것으로 탐지된 것으로 보아, 일부 숲틈 지역에서는 교란 등의 이유로 열린 공간의 면적이 넓어진 것을 추정할 수 있다.

2012년과 2015년도 사이 새로 생성된 숲틈의 중심 위치 27곳을 gps 장비에 기록한 뒤, 현장 검증한 결과 23곳(85%)에서 숲틈이 실제 생성된 것을 확인할 수 있었다. 절반 이상(14곳)이 수목의 고사, 쓰러짐, 부러짐 등에 의해 수관이 열린 것으로 보이며, 묘지 또는 관리지역(산책로 주변 등)이 열린 지역으로 탐지된 곳은 9곳으로 나타났다. 4곳은 현장 조사결과 숲틈을 확인할 수 없었는데, 이는 현장검증에 사용한 기기(GARMIN GPSmap 60CS)가 3m 이상의 오차를 가지고 있으며, 대상지가 수목들에 우거져 있어 위성신호가 약한 지역이라는 점 등이 현장검증에 있어 오류로 작용했을 가능성이 있다.

### 4. 측정 오차

#### 1) 항공 LiDAR 장비의 측정오차

수직방향 측정오차 범위  $\pm 7\text{cm}$ 이고, 대상지 전체의 변화량을 전체 그리드를 대상으로 분석을 진행하였기에 2012년도와 2015년도 수관높이모델의 절대값 차이가 7보다 크면 평균간 차이가 있는 것으로 판단하였다. 수평방향 측정오차 또한  $\pm 7\text{cm}$ 이나, 본 연구에서 LiDAR 데이터를 7cm보다 큰 25cm \* 25cm 그리드 형태로 샘플링을 진행하였기에 측정오차가 연구결과에 크게 영향을 미치지 않았을 것으로 판단하였다. 또한 취득된 LiDAR 데이터를 국가기준점을 참고하여 정합해주었기에, 측정오차의 범위가  $\pm 7\text{cm}$ 보다 좁을 것으로 판단된다.

## 제6장 결론

### 1절. 연구내용 요약

#### 1. 연구 결과 요약

[표 6- 1] 대상지 전체 현황

Region	Annual growth rate (cm/year)	Area (㎡)	Area ratio (%)
Vertical growth	22.8	562313.0	17.7
Lateral growth	-	1332468.5	42.0
Disturbance	-	1274158.6	40.2

##### 1) 생장량

교목지역에서의 연평균 생장량은 24.4 cm/year 추정되었으며, 관목/숲틈 지역에서의 연평균 생장량은 19.4 cm/year로 추정되었다. 관목/숲틈 지역의 생장량의 경우 43%의 면적이 경작지 또는 묘지 등의 인위적인 간섭이 지속적으로 발생하는 곳으로 연평균 생장량이 대상지 전체 연평균 생장량(22.8 cm/year)보다 작게 나타난 것으로 보인다.

생장량은 수종에 따라 그 차이가 가장 명확하게 나타났다. 밤나무가 연평균 27cm/year의 속도로 가장 빠르게 생장하고, 리기나 소나무가 24cm/year의 속도로 가장 느리게 생장하는 것으로 추정되었다.

##### 2) 생장지역 면적

대상지 전체 면적의 18%가 수직방향생장지역으로 분류되었으며, 42%가 측방향생장지역으로 분류되었다. 대상지를 이루는 수종의 영급이 평균적으로 3.8영급이면서 수목의 밀도가 높은 산림이기에, 수직적인 길이생장이 더디어 졌거나, 광환경에 유리한 위치를 차지하고자 한 수목 간 경쟁이 결과의 원인으로 고려될 수 있다.



교목 지역의 경우 측방향생장지역이 43.1%로 가장 넓은 분포를 보이며, 수직방향생장지역 20.0%로 면적분포가 나타났다. 즉, 어느 정도 성장하여 수관을 이루고 있는 교목의 경우 측방향생장이 수직방향생장보다 활발하게 일어나는 것을 알 수 있다. 반면, 관목/숲틈 지역의 경우 수직방향생장지역이 40.8%로 가장 넓은 분포를 보이며, 측방향생장지역 20.0%로 면적분포가 나타나 비교적 어린 나무의 생장에 있어서 수직방향생장이 측방향생장보다 우세하게 나타남을 알 수 있다.

측방향생장지역의 면적은 동남향에서 상대적으로 가장 넓게분포하며, 서북향으로 갈수록 상대적으로 좁아지는 경향을 보였다.

### 3) 교란지역 면적

대상지 전체 교란지역 면적 비율은 40%로, 넓은 지역에서 산림에 피해가 발생하고 있음을 추정할 수 있다. 교란은 특히 대상지 경계, 경작지, 묘지, 산책로 주변 10m 등에서 규모와 발생빈도가 높게 나타남을 연구 결과를 통해 추정할 수 있었다. 또한, 교목 지역의 서쪽 향에서 동쪽향보다 넓게 교란이 상대적으로 높게 발생하는 경향을 보였다.

### 4) 숲틈 면적 변화

2012년도와 2015년도 사이 숲틈의 면적은 21027.85㎡ 감소하였으며, 패치의 수역시 530지역이 감소한 것으로 추정되으나, 2015년도 숲틈 패치들의 평균 면적은 2012년도 대비 2.11㎡ 증가한 것으로 탐지된 것으로 보아, 일부 숲틈 지역에서는 교란 등의 이유로 열린 공간의 면적이 넓어진 것을 추정할 수 있다.

## 2절 연구의 의의와 한계

### 1. 연구의 의의

항공 LiDAR 데이터의 활용은 전통적인 수고추정방법의 한계점을 극복하고 비교적 적은 노동력으로 대상지 전체의 분석을 가능케 하며 항공사진과 위성영상의

2차원적 제약을 벗어나 3차원적인 공간분포를 추정할 수 있게 해준다. 이는 비교적 간단한 방법을 이용해 수관의 수직·수평적 변화량을 기존 방법보다 수십센티미터의 정확도로 정밀하게 추정할 수 있게 해주고, 이는 대상지 내 식생의 건강성을 판단하는 데 도움을 줄 수 있을 것이라 기대된다.

본 연구의 대상지는 시가화 지역 내 고립되어 있는 도시림으로, 비교적 간단한 방법으로 경년 항공 LiDAR 데이터의 비교를 통해 2012년도와 2015년도 사이 도시림에서 발생한 성장량 추정, 성장지역 면적과 교란지역 탐지 등 전체적인 도시림 수관의 수직·수평적 변화량을 정량화하여 보여주었다. 이는 도시림의 중요성이 대두되고 있는 오늘날 도시림의 관리와 산림의 건강성 평가 등에 있어 객관적인 수치를 통해 근거가 될 수 있을 것이라 기대된다.

## 2. 연구의 한계점

본 연구에서 사용된 항공 LiDAR 데이터의 경우 2012년도와 2015년도 데이터로 연구 시작 이전에 항공회사에서 취득된 데이터이다. 이는 현장 검증에 있어 2년이라는 시간차가 나타나는 한계점을 제기한다. 하지만 LiDAR 센서의 특성상 취득데이터의 정확도가 매우 높은 것으로 알려져 있으며, 데이터 가공 시 국가기준 점과 건물 옥상 등 3년 사이에 위치가 변하지 않은 지점들을 기준으로 데이터를 정합해 주어 해당 한계점을 극복하고자 하였다.

본 연구에서는 대상지가 혼효림이면서, 수목의 밀도가 높기 때문에 개체목의 정확한 구분이 불가능하여 수관층의 전체적인 변화량을 수직적인 높이의 차이를 기준으로 계산하였다. 이는 열린 지역 경계부 또는 수목과 수목 사이에서 측방향 성장으로 분류되어야 하는 지역이 수직방향 성장지역으로 분류 되었을 가능성을 한계점으로 제기할 수 있다. 이를 해결하기 위해서 면적인 접근과 함께 3차원 모델링을 통한 수관 변화량 추정 연구방법이 동시에 진행될 필요성이 있다.

또한, 항공 LiDAR 데이터의 경우 수관의 상단부에 점군밀도가 하단부에 비해 밀도가 높게 분포하는 것을 알 수 있다. 대상지의 전체적인 수관의 수직구조를

추정하기 위해서는 이러한 편향된 데이터를 정규화 시킬 방법이 필요하다.

도시림의 경우 물리적이면서 인위적인 교란환경(도로건설, 산책로, 묘지, 경작 등) 뿐만이 아니라 대기오염, 병충해 등 보다 다양한 교란요인들이 존재할 수 있으며, 이는 수관구조에 직접 영향을 미치기에 관련 연구들이 같이 수반되어야 한다.

본 연구의 결과에서 추정되었듯이, 수목의 측방향생장은 숲틈과 같은 열린 공간의 동태에 있어 매우 중요한 요소로 고려될 수 있다. 향후 연구에는 위 한계점들을 극복하고, 대상지의 열린 지역 또는 숲틈에 집중하여 실제로 얼마만큼 경계 주변에서 수관의 변화가 발생하는지 추정하고자 한다.

# 참고문헌

## 국내문헌

### 서적(단행본)

- 이돈구 (2012). 『숲의 생태적 관리 = Ecological managment of forests』 / 대표저자: 이돈구. 서울, 서울 : 서울대학교 출판문화원.
- 손요환외 5인(2016). 『(신고) 산림생태학』 서울 : 향문사.

### 학회지논문

- 김세준, 이종철, 김진수 and 노태호 (2014). 항공 LiDAR 와 수치지도를 이용한 산사태 취약성 비교 분석. 한국측량학회지 32(4-1): 281-292.
- 김은영, 위광재, 조홍묵 and 양인태 (2010). 항공레이저측량을 이용한 산림조사 방법에 관한 연구. 한국측량학회지 28(3): 299-304.
- 위광재, 이현, 이동하, 조재명 and 서용철 (2011). 항공 라이다 데이터를 이용한 산림의 탄소 흡수량 측정. 한국측량학회지 29(1): 55-62.
- 윤미혜, 김은지, 박두안, 이우균, 이종열, 김문일, 이소혜 and 손요환 (2015). 연구논문 : 항공 LiDAR 자료를 이용한 브루나이 열대우림의 임분단위 지상부 생체량 추정. 대한원격탐사학회지 31(2): 127-136.
- 이현직, 유지호, 양승룡 and 구대성 (2011). 산림바이오매스 산정을 위한 고해상도 위성영상 및 LiDAR 데이터를 이용한 산림 정보 추출, 한국지형공간정보학회.
- 이돈구, 권기철, 김영환 and 김영수 (2000). “참나무류 4개 수종의 맹아발생력 및 맹아생장량 - 경기도 광주지방 신갈나무, 굴참나무, 상수리나무, 떡갈나무 천연임분을 대상으로 -

### 기타

수목도감: <http://treeworld.co.kr/company>

## 국외문헌

### 서적(단행본)

- Runkle, J. R. (1992). Guidelines and sample protocol for sampling forest gaps. General technical report, PNW-GTR-283, USDA Forest Service. Pacific Northwest Research Station, Portland, Oregon, U.S.A. 44 pp.
- Maltamo, M., E. Næsset and J. Vauhkonen (2014). Forestry applications of airborne laser scanning: concepts and case studies, Springer Science & Business Media.
- Norman, J. M. and G. S. Campbell (1989). Canopy structure. Plant Physiological Ecology: Field methods and instrumentation. R. W. Pearcy, J. R. Ehleringer, H. A. Mooney and P. W. Rundel. Dordrecht, Springer Netherlands: 301-325.
- Schreuder, H. T., T. G. Gregoire and G. B. Wood (1993). Sampling methods for multiresource forest inventory, John Wiley & Sons.

### 학회지논문

- Cao, L., N. C. Coops, J. L. Innes, S. R. J. Sheppard, L. Fu, H. Ruan and G. She (2016). Estimation of forest biomass dynamics in subtropical forests using multi-temporal airborne LiDAR data. Remote Sensing of Environment 178: 158-171.
- Clark NE, Lovell R, Wheeler BW, Higgins SL, Depledge MH, Norris K (2014) Biodiversity, cultural pathways, and human health: a framework. Trends Ecol Evol 29:198-204
- Chianucci, F. and A. Cutini (2013). Estimation of canopy properties in deciduous forests with digital hemispherical and cover photography. Agricultural and Forest Meteorology 168: 130-139.
- Coops, N. C. (2015). Characterizing Forest Growth and Productivity Using Remotely Sensed Data. Current Forestry Reports 1(3): 195-205.
- Grams, T.E.E., Andersen, C.P., (2007). Competition for resources in trees: physiological versus morphological plasticity. Prog. Bot. 68, 356-381.
- Hardiman, B. S., C. M. Gough, A. Halperin, K. L. Hofmeister, L. E. Nave, G. Bohrer and P. S. Curtis (2013). Maintaining high rates of carbon storage in old forests: A mechanism linking canopy structure to forest function. Forest Ecology and Management 298: 111-119.
- Hopkinson, C., L. Chasmer and R. J. Hall (2008). The uncertainty in conifer plantation growth prediction from multi-temporal lidar datasets. Remote Sensing of

- Environment 112(3): 1168-1180.
- Ishii, H. T., S. Tanabe and T. Hiura (2004). Exploring the relationships among canopy structure, stand productivity, and biodiversity of temperate forest ecosystems. *Forest Science* 50(3): 342-355.
- Korhonen, L., I. Korpela, J. Heiskanen and M. Maltamo (2011). Airborne discrete-return LIDAR data in the estimation of vertical canopy cover, angular canopy closure and leaf area index. *Remote Sensing of Environment* 115(4): 1065-1080.
- Lefsky, M. A., W. B. Cohen, G. G. Parker and D. J. Harding (2002). Lidar Remote Sensing for Ecosystem Studies Lidar, an emerging remote sensing technology that directly measures the three-dimensional distribution of plant canopies, can accurately estimate vegetation structural attributes and should be of particular interest to forest, landscape, and global ecologists. *BioScience* 52(1): 19-30.
- Ma, Q., Y. Su, S. Tao and Q. Guo (2017). Quantifying individual tree growth and tree competition using bi-temporal airborne laser scanning data: a case study in the Sierra Nevada Mountains, California. *International Journal of Digital Earth*: 1-19.
- Mahoney, C., C. Hopkinson, N. Kljun and E. van Gorsel (2017). Estimating Canopy Gap Fraction Using ICESat GLAS within Australian Forest Ecosystems. *Remote Sensing* 9(1).
- McPherson, E. G., D. Nowak, G. Heisler, S. Grimmond, C. Souch, R. Grant and R. Rowntree (1997). Quantifying urban forest structure, function, and value: the Chicago Urban Forest Climate Project. *Urban Ecosystems* 1(1): 49-61.
- Norman, J. M. and G. S. Campbell (1989). Canopy structure. *Plant Physiological Ecology: Field methods and instrumentation*. R. W. Pearcy, J. R. Ehleringer, H. A. Mooney and P. W. Rundel. Dordrecht, Springer Netherlands: 301-325.
- Nyström, M., J. Holmgren and H. Olsson (2013). Change detection of mountain birch using multi-temporal ALS point clouds. *Remote Sensing Letters* 4(2): 190-199.
- Olivier, M. D., S. Robert and F. Richard A (2017). A method to quantify canopy changes using multi-temporal terrestrial lidar data: Tree response to surrounding gaps. *Agricultural and Forest Meteorology* 237-238: 184-195.
- Qin, R., J. Tian and P. Reinartz (2016). 3D change detection – Approaches and applications. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 122: 41-56.
- Perry, D. A. and J. Maghembe (1989). Ecosystem concepts and current trends in forest management: Time for reappraisal. *Forest Ecology and Management* 26(2): 123-140.
- Potvin, C., Dutilleul, P., (2009). Neighborhood effects and size-asymmetric competition in a

- tree plantation varying in diversity. *Ecology* 90, 321–327.3
- Schulze, E. D. and H. A. Mooney (1994). Ecosystem Function of Biodiversity: A Summary. *Biodiversity and Ecosystem Function*. E.-D. Schulze and H. A. Mooney. Berlin, Heidelberg, Springer Berlin Heidelberg: 497–510.
- Schwinning, S., Weiner, J., (1998). Mechanisms determining the degree of size asymmetry in competition among plants. *Oecologia* 113, 447–455.
- Song, Y., J. Imanishi, T. Sasaki, K. Ioki and Y. Morimoto (2016). Estimation of broad-leaved canopy growth in the urban forested area using multi-temporal airborne LiDAR datasets. *Urban Forestry & Urban Greening* 16: 142–149.
- St-Onge, B. and U. Vepakomma (2004). Assessing forest gap dynamics and growth using multi-temporal laser-scanner data. *Power* 140: 173–178.
- St-Onge, B., U. Vepakomma, J.-F. S  n  cal, D. Kneeshaw and F. Doyon (2014). Canopy Gap Detection and Analysis with Airborne Laser Scanning. *Forestry Applications of Airborne Laser Scanning: Concepts and Case Studies*. M. Maltamo, E. Næsset and J. Vauhkonen. Dordrecht, Springer Netherlands: 419–437.
- Vepakomma, U., D. Kneeshaw and B. St-Onge (2010). Interactions of multiple disturbances in shaping boreal forest dynamics: a spatially explicit analysis using multi-temporal lidar data and high-resolution imagery. *Journal of Ecology* 98(3): 526–539.
- Vepakomma, U., B. St-Onge and D. Kneeshaw (2008). Spatially explicit characterization of boreal forest gap dynamics using multi-temporal lidar data. *Remote Sensing of Environment* 112(5): 2326–2340.
- Vepakomma, U., B. St-Onge and D. Kneeshaw (2011). Response of a boreal forest to canopy opening: Assessing vertical and lateral tree growth with multi-temporal lidar data. *Ecological Applications* 21(1): 99–121.
- Vepakomma, U., D. Kneeshaw and M. J. Fortin (2012). Spatial contiguity and continuity of canopy gaps in mixed wood boreal forests: persistence, expansion, shrinkage and displacement. *Journal of Ecology* 100(5): 1257–1268.
- Whitehurst, A., A. Swatantran, J. Blair, M. Hofton and R. Dubayah (2013). Characterization of Canopy Layering in Forested Ecosystems Using Full Waveform Lidar. *Remote Sensing* 5(4): 2014–2036.
- Wulder, M. A., N. C. Coops, A. T. Hudak, F. Morsdorf, R. Nelson, G. Newnham and M. Vastaranta (2014). Status and prospects for LiDAR remote sensing of forested ecosystems. *Canadian Journal of Remote Sensing* 39(sup1): S1–S5.
- Yamamoto, S.-I. (1992). The gap theory in forest dynamics. *The botanical magazine*=

- Shokubutsu-gaku-zasshi 105(2): 375-383.
- Yu, X., J. Hyypä, H. Kaartinen, H. Hyypä, M. Maltamo and P. Rönholm (2005). Measuring the growth of individual trees using multi-temporal airborne laser scanning point clouds. Proceedings of ISPRS Workshop Laser Scanning.
- Yu, X., J. Hyypä, A. Kukko, M. Maltamo and H. Kaartinen (2006). Change detection techniques for canopy height growth measurements using airborne laser scanner data. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing 72(12): 1339-1348.
- Zimble, D. A., D. L. Evans, G. C. Carlson, R. C. Parker, S. C. Grado and P. D. Gerard (2003). Characterizing vertical forest structure using small-footprint airborne LiDAR. Remote Sensing of Environment 87(2-3): 171-182.





# Estimation of the Urban Forest Growth Using Multi-temporal LiDAR Dataset

Choi, Heejoon

Department of Landscape Architecture  
Graduate School of Environmental Studies  
Seoul National University

## Abstract

In recent years, the urban forests have received considerable attention in the aspect of increasing biodiversity and providing ecosystem services. However, because of rapid urbanization and the climate changes, urban forests have been isolated, and their health has been deteriorated. These problems have induced worldwide research trends that many researchers to evaluate and manage the health of the urban forest. The forest health can be appraised by quantifying the growth of forest canopy because the environmental factors (e.g., the density of trees, age class, species distribution and disturbance) may affect the growth of forest canopy. As the last two decades have seen growing trends towards LiDAR (Light Detection and Ranging), one of the remote sensing techniques, for forest application, it has been possible to quantify and estimate the growth rate of the canopy. Notably, using LiDAR carried on an airborne platform, so-called airborne LiDAR, has great potential for applying to acquire 3-dimensional information of wide range area which may overcome limitations of previous research methods.

The main aim of this study is to investigate and estimate the canopy growth rate and changes using multi-temporal LiDAR datasets. Specific

objectives are estimating vertical growth rate, the lateral growth area, and the disturbance area by calculating differences between years of 2012 and 2015 canopy height models. Although there is a potential for detecting the canopy changes of wide range area accurately, a few relevant studies have been conducted on the boreal forests in North America and Northern Europe, and little research on the urban forests has been reported. As the concern of the urban forest health has been presented consistently, an index for evaluating the health of urban forests such as the growth rate of the canopy is necessary. Hence, for appraising the urban forest health in the wide range of area, it is significant to quantify the growth rate of the canopy by using airborne LiDAR sensors.

The research site is Mt. Bongseo located in the center of a metropolitan area (Cheonan city, Chungcheongnam-Do, Republic of Korea). The airborne LiDAR datasets were acquired on 9th October 2012, and 30th October 2015 and both points densities are 9 points/m<sup>2</sup>. The site is a mixed forest where the dominant species are *Quercus acutissima* (44.8%), *Pinus rigida* (29.7%) and *Larix leptolepis* (7.4%), and the average of age class is class 3.8(30 to 40-year-old forest). For the research methods, we calculated the vertical differences between the years of 2012 and 2015 canopy height models generated from LiDAR datasets and estimated the changes of the canopy during that period. After preprocessing the LiDAR datasets (e.g., noise filtering, registration, classifying points- ground, vegetation, buildings), 0.25\*0.25m<sup>2</sup> DSMs (Digital Surface Models), DTMs (Digital Terrain Models) and CHMs (Canopy Height Models) were generated. Then, the cohort was divided into two groups (high canopy region and shrub canopy/gap region) according to the average of the canopy heights (5m).

As results, the estimation of the mean annual growth rate in the high canopy region is 24.4 cm/year, and in the shrub canopy/gap region is 19.4 cm/year. This difference can be considered as one of the site features because most of the classified shrub canopy/gap region in the site is shown to be cultivated area or cemeteries. Both growth rates of the high canopy regions and shrub canopy/gap regions were compared by tree species, age class, soil texture, aspect, and slope, and the mean of annual canopy growth was most noticeable in the comparison of species (*Castanea crenata*: 27.0cm/year; *Quercus acutissima*: 24.7cm/year; *Pinus rigida*: 23.9cm/year). These results can be considered as canopy growth rate in the site mainly depends on its tree species. In the aspect of the area ratio, 18% of the total area was classified as the vertical growth area, for 42% was classified as the lateral growth area. Specifically, for 43% area of the high canopy region, the canopy expanded lateral direction, and for 20% area of the region, the vertical growth was detected. On the contrary, in the shrub/gap region, the canopy grew up vertically in 41% of the region and expanded laterally in 20% of the region. One interesting finding of the distribution of the lateral growth shows the tendency which the area of lateral growth was the most distributed in the aspect of the southeast and least distributed to the aspect of the northwest. The results also present distribution of disturbance (40% of the site area) in the forest. Relatively, more disturbance patches and larger area of the disturbance were observed in the interior of buffer (10m-buffer from site boundary, land of cultivation, cemetery, and trails) than patches were observed in the exterior of buffer. Furthermore, the distribution of disturbance shows the trends that it is more distributed in the western aspects than distributed in the eastern aspects. For forest gaps, the area was diminished about 21027.85m<sup>2</sup> and the number of patches also decreased

about 530 patches. Additionally, because the average area of forest gaps was increased 2.11m<sup>2</sup>, we assume that detected small gaps in 2012 were mostly closed in 2015 and relatively larger gaps in 2012 were expanded during that period.

This study shows that using multi-temporal LiDAR datasets helps to overcome previous research methods which are limited in 2-dimensional space and local areas. Moreover, it presents that it is efficient methods for acquiring quantitative results which are the objective evidence for assessing the urban forest health. For further studies, this research could contribute to the long-term period studies that are necessary for monitoring the urban forests.

**Keywords : URBAN FOREST, AIRBORNE LIDAR, FOREST GROWTH,  
DISTURBANCE**

**Student Number : 2016-24853**